

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Moderní chladicí soustavy spalovacích motorů

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Hromádko, Ph. D.

Vypracoval: Bc. Ladislav Buček

PRAHA 2015/2016



Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta
Katedra vozidel a pozemní dopravy

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

- autor práce: Bc. Ladislav Buček
- Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích
- Obor: Silniční a městská automobilová doprava
- Vedoucí práce: Ing. Jan Hromádko, Ph.D.
- Název práce: **Moderní chladicí soustavy spalovacích motorů**
- Název anglicky: **Modern cooling systems of internal combustion engines**
- Cíle práce: Cílem práce je analyzovat moderní chladicí soustavy spalovacích motorů.
- Metodika:
1. Provést globální literární rešerši dané problematiky.
 2. Experimentálně zhodnotit vybrané aspekty moderních chladicích soustav.
 3. Návrh řešení, případně doporučení k řešení problematiky vyplývající z poznatků získaných v experimentální části.
- Doporučený rozsah práce: 50 - 60 stran formátu A4
- Klíčová slova: chlazení motorů, chladič, chladící medium
- Doporučené zdroje informací:
1. Hromádko, J., Hönl, V., Miler, P.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0
 2. Macek, J.: Spalovací motory I, ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03618-1
 3. Rauscher, J.: Spalovací motory, Studijní opory, VUT FSI Brno, 2004
 4. Scholz, C.: Konstrukce pístového spalovacího motoru. Skripta TU Liberec 2003, ISBN 80-7083-693-8
- Předběžný termín obhajoby: 2016/05 (květen)

Elektronicky schváleno: 30. 3. 2015
doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 27. 4. 2015
prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.
Děkan

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Hromádka, Ph. D., Ing. Petra Pešána a veškerá použitá literatura a jiné informační zdroje, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použitých materiálů. Obrázky a text převzatý z dílenských příruček je majetkem Škoda Auto a není možné ho dále šířit bez písemného souhlasu.

V Praze

Podpis

Poděkování:

Děkuji panu Ing. Janu Hromádkovi, Ph. D. za odborné konzultace a možnost realizování studentů ve firmách, panu Ing. Petru Pešánovi z oddělení kvality Škoda Auto za odborné konzultace a umožnění tohoto experimentu, panu Ing. Petru Jarešovi Ph. D. za odborné rady a konzultace, které se týkaly kapalin a nečistot a panu Tomáši Hájkovi za pomoc při zjišťování informací.

Dále děkuji své rodině za podporu a toleranci při studiu na vysoké škole.

Moderní chladicí soustavy spalovacích motorů

Abstrakt:

S ohledem ke zvyšujícím se výkonům a zároveň snižování objemu motorů jsou kladeny zvýšené nároky na chladicí soustavu. Vzhledem k nezbytnosti zachovat maximální spolehlivost, je také nezbytné chladit i takové části spalovacího motoru, u kterých to v minulosti nebylo třeba.

Diplomová práce je zaměřena na detailní popis komponentů a funkcí chladicího systému u moderního vznětového motoru. Cílem je posouzení vlivu degradované chladicí kapaliny na funkci a životnost chladicího systému.

Klíčová slova:

chlazení motorů, chladič, chladicí medium

Modern cooling systems of combustion engines

Abstract:

With regard to engines performance increasing while reducing the volume of theirs there are placed increased demands on cooling system. Because of the necessity to maintain maximum reliability it is also necessary to cool such parts of the engine, where it was not necessary in the past time.

The thesis is focused on detailed components description and functions of modern diesel engine cooling system.. The objective is to evaluate the impact of degraded coolant to the function and cooling system service life.

Key words:

engine cooling systems, cooler, coolant

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Teorie chlazení.....	2
2.1	Formulace spalovacího motoru	2
2.2	Tepelná bilance spalovacího motoru.....	2
2.3	Základní vztah pro tepelnou bilanci spalovacího motoru.....	2
2.4	Chlazení spalovacího motoru	3
2.4.1	Přímé chlazení	3
2.4.2	Nepřímé chlazení.....	5
3.	Kapalinové chlazení spalovacího motoru.....	7
3.1	Chladicí kapalina ve vozidle	8
3.1.1	Kapalina G13.....	8
3.2	Komponenty chladicí soustavy	10
3.2.1	Tlaková vyrovnávací nádoba se silikátem.....	10
3.2.2	Potrubí.....	11
3.2.3	Čerpadlo chladicí kapaliny	11
3.2.4	Termoregulátor chladicí kapaliny (termostat).....	13
3.2.5	Chladič chladicí kapaliny	13
3.2.6	Senzor teploty chladicí kapaliny	14
3.2.7	Ventilátor.....	15
3.2.8	Elektrické oběhové čerpadlo chladicí kapaliny	15
3.2.9	Hlava válců.....	16
3.2.10	Blok válců	17
3.2.11	Chladič chladicího okruhu plnicího vzduchu (mezichladič).....	18
3.2.12	Chlazení plnicího vzduchu	19
3.2.13	EGR chladič	20
3.2.14	Ventil zpětného vedení výfukových plynů.....	21
3.2.15	Modul olejového filtru	22
3.3	Okruhy chladicích soustav	23
3.3.1	Malý chladicí okruh - mikrookruh	24
3.3.2	Malý chladicí okruh - při vysokém zatížení motoru	25
3.3.3	Velký chladicí okruh - vysokoteplotní chladicí okruh	26
3.3.4	Okruh chladicí kapaliny pro chlazení plnicího vzduchu	27
4.	Metodika a postup práce	28
4.1	Použité měřicí přístroje	30
4.1.1	Rastrovací elektronový mikroskop VEGA3 XM	30
4.1.2	Videoskop HUTERMANN HIC-36SD.....	31

4.1.3	Termokamera FLUKE Ti32	32
4.2	Analýza chladicích kapalin	33
4.3	Analýza dílů	34
4.3.1	Tlaková vyrovnávací nádoba se silikátem.....	34
4.3.2	Potrubí	35
4.3.3	Čerpadlo chladicí kapaliny	40
4.3.4	Termoregulátor chladicí kapaliny (termostat)	42
4.3.5	Chladič chladicí kapaliny	43
4.3.6	Elektrické oběhové čerpadlo chladicí kapaliny	46
4.3.7	Hlava válců.....	50
4.3.8	Blok válců	51
4.3.9	Chladič chladicího okruhu plnicího vzduchu (mezichladič)	52
4.3.10	Chlazení plnicího vzduchu	54
4.3.11	EGR chladič	55
4.3.12	Ventil zpětného vedení výfukových plynů.....	56
4.3.13	Chladič kapaliny olejového modulu.....	57
4.4	Termovizní analýza šíření tepla chladicím systémem.....	58
4.5	Vyhodnocení	61
4.5.1	Doporučení k řešení	62
5.	Závěr	64

1. Úvod

Podstatou spalovacího motoru je přeměna energie chemické na tepelnou a tepelné dále na mechanickou. Při těchto cyklech vzniká teplo, které je nezbytné pro funkci spalovacího motoru, ale přebytečná část musí být odvedena chlazením případně využita k dalším činnostem.

V minulosti převažovalo chlazení přímé, zejména pro svoji jednoduchost a robustnost nicméně vzhledem k neustálému zvyšování výkonu současných motorů je toto chlazení nahrazeno nepřímým.

Nevhodně navržený systém může mít negativní vliv na výkon, životnost jednotlivých dílů motoru a provozní náplně včetně tvorby emisí, které jsou v současné době velmi sledované z pohledu legislativy.

Důležitou součástí chladicího okruhu je samotná chladicí kapalina, která je v současné době složena z etylenglykolu s příměsí glycerinu. I když dnešní chladicí směsi jsou mnohem ekologičtější než v minulosti, zůstává likvidace chladicí kapaliny určitou zátěží pro životní prostředí. Automobilky v současné době vyvíjí takové kapaliny, které jsou šetrné k chlazeným dílům motorů, ekologické a ekonomicky přijatelné.

Nepřímé chlazení není dominancí jen spalovacích motorů, které pravděpodobně brzy nahradí jiný druh pohonu, ale umožňuje chlazení elektromotorů, akumulátorů a jiných elektrotechnických komponentů, kde vzniká zvýšené množství odpadního tepla.

Název diplomové práce je úmyslně všeobecný z důvodu zachování diskrétnosti, jelikož podobné analýzy, které jsem ve své diplomové práci prováděl, jsou pro Škoda Auto citlivou a nákladnou záležitostí.

Celý projekt jsem koordinoval samostatně včetně všech manuálních prací a trval více než jeden rok.

2. Teorie chlazení

2.1 Formulace spalovacího motoru

Spalovací motor je tepelný stroj, který spalováním paliva získává tepelnou energii a využitím plynného média ji převádí na mechanickou práci. Energie plynného média je využívána buď jako potenciální energie (tlak) u pístových spalovacích motorů, nebo energie kinetická (rychlost proudu) u spalovacích turbín. [1]

2.2 Tepelná bilance spalovacího motoru

Tepelná bilance spalovacího motoru, která je zobrazena na obrázku 1, by měla vykazovat ve všech režimech práce takové hodnoty, které zajistí co nejhospodárnější provoz. Tepelné ztráty v podobě chlazení, výfuku, vnitřních mechanických ztrát a jiných, jsou pro provoz motoru nezbytné, je však stejně nezbytné snažit se tyto ztráty dále snižovat na minimum. [1]

2.3 Základní vztah pro tepelnou bilanci spalovacího motoru

$$Q_p = Q_{ns} + Q_{ch} + Q_s + Q_v + Q_m + Q_e$$

Q_p - teplo přivedené do oběhu palivem

Q_{ns} - teplo ztracené nespálením nebo nedokonalým spálením paliva

Q_{ch} - teplo odvedené chlazením

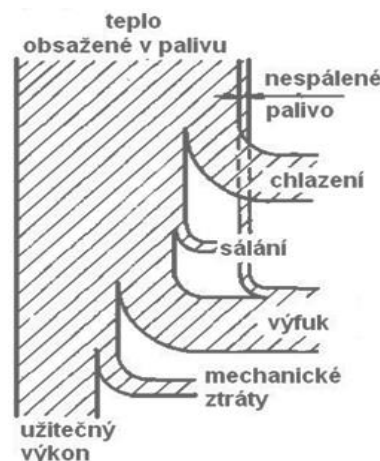
Q_s - teplo odvedené sáláním

Q_v - teplo odvedené výfukem

Q_m - teplo představující mechanické ztráty

Q_e - teplo užitečné (efektivní), ekvivalentní užitečnému výkonu

Obrázek 1 - Schéma tepelné bilance spalovacího motoru



Zdroj: přednášky spalovací motory, Jan Hromádka

2.4 Chlazení spalovacího motoru

Úkolem chladicího systému je odvést přebytečné teplo z pracovních částí, zejména spalovacího prostoru, stěn válců, pístní skupiny a hlavy motoru do chladicího média, čímž je možné dosáhnout nižšího tepelného namáhání. Neméně důležitou funkcí je udržení teploty na požadované hodnotě během nízkého i vysokého zatížení motoru. Nevhodně navržený systém může mít negativní vliv na výkonnost, životnost jednotlivých součástí, provozní náplně včetně tvorby emisí, které jsou v současné době velmi hlídané. Chlazení se dělí podle převodu tepla z pracovních částí motoru do okolí na přímé nebo do chladicího média na nepřímé.

2.4.1 Přímé chlazení

Tento typ chlazení je charakteristický tím, že odváděné teplo je přeneseno z pracovních částí motoru od okolního prostředí. Pro zvýšení chladicího efektu je možné použití různých druhů žebrování, které zvětší ochlazovanou plochu. Přímé chlazení je často nazýváno jako vzduchové, vzhledem k obtékajícímu médiu.

Největší výhodou těchto konstrukcí je jednoduchost, nízká hmotnost a rychlé dosažení provozní teploty. Tento systém chlazení vyniká svou spolehlivostí a snadnou údržbou. Naproti výhodám stojí i nevýhody, za které lze považovat nerovnoměrné rozložení pracovních teplot samotných částí systému a kolísavé pracovní teploty, závislé na okolním prostředí. Další nevýhodou může být menší potlačení hluků. Přímé chlazení lze dělit podle způsobu získání proudění vzduchu kolem vnějších částí motoru na náporové a nucené [2]

2.4.1.1 Náporové chlazení

Jde o nejjednodušší způsob chlazení, jehož princip spočívá v odvádění přebytečného tepla samotným pohybem stroje. Nevýhodou je možnost přehřátí motoru při vysokém zatížení a malé pojízdné rychlosti, zejména během jízdy do kopce nebo jeho podchlazení při malém zatížení a velké rychlosti, především během jízdy z kopce. [1]

Tato konstrukce se často používá u motocyklů a menších mobilních strojů. Jako největší přípustný výkon u náporového chlazení se uvádí 74 kW z jednoho litru objemu motoru. U tohoto provedení je nutné dodržení optimální velikosti a vzdálenosti jednotlivých chladicích žeber. [2]

2.4.1.2 Nucené chlazení

Principem je opět využití proudění vzduchu kolem částí motoru, který je získán pomocí ventilátoru nebo jiného vlastního zdroje. Tento druh chlazení není závislý na rychlosti vozidla na rozdíl od náporového. Mezi výhody patří možnost regulace obtékaného vzduchu, což umožňuje regulaci teploty spalovacího motoru. Nevýhodou je zajištění pohonu ventilátoru, který odebírá část výkonu motoru pro svoji funkci.

2.4.1.3 Škracením průtoku vzduchu

Jde o jednoduchý způsob regulace, který spočívá v úpravě natočení clon tak, aby protékající vzduch udržel požadovanou teplotu motoru. Regulace se provádí na vstupu nebo výstupu proudícího vzduchu k ventilátoru nebo na výstupu vzduchu z motorového prostoru. Tento model chlazení je značně neekonomický, protože ventilátor je poháněn tak, aby byl schopen uchládit nejvyšší možný ohřev motoru. Tím pádem odebírá zbytečné množství energie [2]

2.4.1.4 Změnou otáček ventilátoru

Abychom předešli odběrům vysokého množství energie je možné ventilátor připojovat pouze v případě potřeby. Mezi ventilátorem a motorem mohou být vloženy například elektromagnetické, hydraulické, viskózní nebo jiné druhy spojky, přičemž regulace je zajištěna na základě jejich sepnutí. Připojení ventilátoru k činnosti je plynulé nebo skokové v závislosti na typu spojky.

Při použití plynule regulovatelné spojky je chlazení dostačující pro udržení požadované provozní teploty. Se zvýšenou regulací roste náročnost na její obsluhu a tedy i složitost samotné konstrukce. [2]

2.4.1.5 Natáčením lopatek ventilátoru

Další možností regulace a relativně ekonomickou variantou je natáčení lopatek ventilátoru. V závislosti na poloze lopatek je dopravováno různé množství vzduchu. Bohužel systém bývá konstrukčně složitější než předešlé metody, a tím náchylnější k poruchám. Regulace je plynulá a náročnost na její obsluhu je srovnatelná s ovládáním spojky při regulaci změnou otáček ventilátoru. [2]

2.4.2 Nepřímé chlazení

Mezi horké díly motoru a okolní prostředí je zařazeno teplotnosné médium, které teplo do okolního prostředí předává pomocí tepelného výměníku. Jako médium se pro přenos tepla používá chladicí kapalina, nejčastěji jde o směs destilované vody s kapalinami zabezpečujícími nezamrznutí kapaliny a ochranu vnitřních částí systému před korozi. Nepřímé chlazení nevyžaduje použití odolnějších a speciálních materiálů, jako je tomu u přímého chlazení vzhledem k provozní teplotě.

Výhodou kapalinového chlazení je konstantní teplota většiny částí motoru a využití chladicí kapaliny k vytápění prostoru pro cestující. Nepřímé chlazení umožňuje dosažení vyššího objemového výkonu motoru a při stejných podmínkách a u zážehových motorů vykazuje nižší požadavek na oktanové číslo paliva. Rovněž vykazuje dlouhodobou stálost jmenovitého výkonu motoru, protože nedochází v důsledku výrazného nárůstu teploty stěn válců k poklesu objemové účinnosti naplnění válců čerstvou směsí. Vzhledem k roztečné vzdálenosti válců může být motor kratší a kapalinový plášť přispívá ke snížení hlučnosti. Nevýhodou je značná složitost celého systému, náročnější údržba a vyšší hmotnost. [1]

2.4.2.1 Termosifonové (gravitační) chlazení

Tento způsob chlazení je charakteristický tím, že cirkulaci chladicí kapaliny způsobí rozdíl měrné hmotnosti studené a teplé chladicí kapaliny. Chladicí kapalina ochlazená ve výměníku tepla proudem vzduchu vstupuje do spodní části válců motoru. Proud chladicí kapaliny vystupující ze spodní komory chladiče chladí stěny válců a vstupuje do hlavy motoru, odkud je potrubím veden do horní komory chladiče a cyklus se opakuje.

Pro zajištění intenzivní cirkulace kapaliny je nutný tepelný spád a rozdíl teplot na vstupu a výstupu chladiče by měl dosahovat až 30°C. Protože výška sloupců různě teplé kapaliny ovlivňuje rychlost cirkulace, byly kapoty vozidel s takto chlazenými motory značně vysoké. Nedílnou součástí je ventilátor poháněný od klikové hřídele, který zvyšuje teplotní spád chladiče proudícím vzduchem odebírajícím teplo z jeho povrchu. Vzhledem k malé oběhové rychlosti musí být průtočné průřezy v bloku a hlavě značně velké a s tím je spjata i potřeba většího množství chladicího média. To bohužel prodlužuje dobu ohřevu motoru a zhoršuje tepelný komfort pro posádku. [1]

2.4.2.2 Chlazení s nucenou cirkulací chladicí kapaliny

Tento typ chladicího systému se velmi podobá termosifonovému chlazení. Cirkulaci kapaliny však zabezpečuje čerpadlo poháněné od klikové hřídele motoru. Toto řešení nevyžaduje umístění chladiče vysoko nad motorem ani značné objemy chladicí kapaliny v chladicím systému. Tepelný spád na výměníku tepla se v tomto případě pohybuje v rozmezí 6 až 12°C. V nuceném oběhu lze použít termostat, který dělí chladicí systém na malý a velký chladicí okruh. Malý okruh je v činnosti při nižších teplotách kapaliny, zejména po spouštění motoru. Pokud je dosaženo požadované teploty, termoregulátor přepustí ohřátou kapalinu do chladiče opatřeného ventilátorem. Ventilátor na chladiči je spojen elektromotorem, který je spínán teplotním spínačem na chladiči. Nevýhodou této konstrukce je, že studená chladicí kapalina vstupuje nejprve do relativně chladné spodní části vodního pláště válců a teprve poté, již zahřátá, se dostává do nejteplejších míst válce a hlavy válců. [1]

2.4.2.3 Kombinovaný systém chlazení

Pro kombinovaný systém je charakteristické to, že kapalina ochlazená v chladiči je dodána čerpadlem do horní části chladicího pláště válců nebo přímo do chladicích prostor hlavy válců. Spodní část bloku motoru s klikovou hřídelí lze chladit pouze pomocí gravitačního chlazení. Další variantou je rozdělení proudů kapaliny za čerpadlem, kdy hlavou protéká 70% kapaliny a spodní částí motoru zbylých 30%. Toto řešení výrazně ovlivňuje rovnoměrné rozložení teploty v hlavě a bloku motoru. [1]

2.4.2.4 Odpařovací systém chlazení

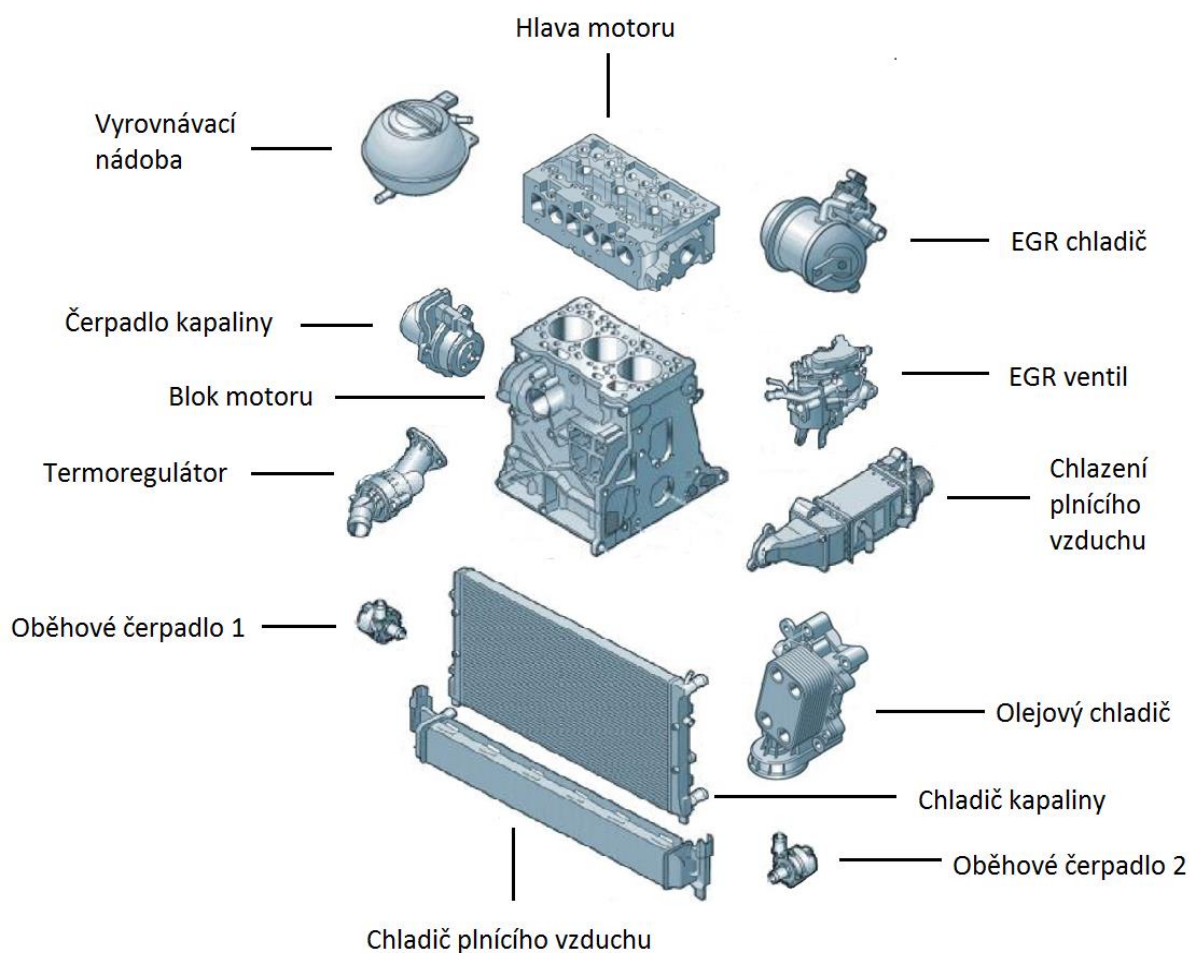
Jedná se o vůbec nejstarší způsob chlazení spalovacích motorů. Kapalina vydává přijaté teplo z motoru odpařováním, jde o ztrátové chlazení a je nutné chladicí kapalinu doplňovat. Ohřátá chladicí kapalina vystupující z motoru stéká po speciální mřížce do nádoby s chladicí kapalinou. Tímto dochází ke zvětšení volného povrchu chladicí kapaliny, který podporuje její odpařování. [1]

U automobilových motorů jsou používány pouze uzavřené chladicí systémy. Zvýšení tlaku o 0,01 MPa zvyšuje teplotu varu o 2,1°C. Při přetlaku 0,1 MPa vzroste teplota varu na přibližně 120°C. Současně s omezením vzniku parních bublin dochází i ke zvýšení chladicího výkonu soustavy, protože teplotní spád na chladiči vzrůstá. [1]

3. Kapalinové chlazení spalovacího motoru

Na obrázku 2 je zobrazena celková sestava chladicího systému moderního vznětového motoru.

Obrázek 2 - Celková sestava chladicích dílů



3.1 Chladicí kapalina ve vozidle

Chladicí kapalina koluje v samostatném okruhu motoru. Jejím hlavním úkolem je převzít a odvést odpadní teplo, vytvořené hořením ve válcích, třením jednotlivých pohyblivých částí motoru a také slouží k vytápění vnitřního prostoru vozu. [9]

Chladicí kapalina plní v chladicím systému řadu funkcí. Správně zvolená a naředěná chladicí kapalina zabraňuje vzniku koroze v chladicím systému, přehřívání motoru zejména v letním období a samozřejmě jejich zamrzání v zimním období. Tyto funkce je nutné kontrolovat dle pokynu výrobce pro zachování spolehlivosti systému v určených lhůtách. Kontrolu provádíme příslušným měřidlem (refraktometrem), které sdělí do kolika stupňů Celsia je směs namíchána. Pokud během provozu dochází k únikům, je nutné doplnění vhodné kapaliny na správné množství a předcházet tak poruchám. Při výběru koncentráту dbáme na to, aby neměla pouze odolnost proti zamrzání, ale musí mít také antikoroziční účinky a nesmí narušovat gumové ani hliníkové součásti chladicího systému. I když velká část systému je pouze ze slitiny hliníku, je nutné brát ohledy na antikoroziční vlastnosti kvůli ocelové hřídeli čerpadla a v některých případech i lopatky oběžného kola. [9]

3.1.1 Kapalina G13

V roce 2011 došlo v oblasti složení chladicích kapalin k významné změně. Více než sedmdesát let dominantně používaný etylenglykol byl částečně nahrazen jiným alkoholem. Nejnovější chladicí kapalina, která musí odpovídat normě TL 774 J a kterou koncern VW označuje jako G13, není revoluční v pravém slova smyslu. Výjimečné je na ní zejména to, že narušila výhradní používání etylenglykolu jako základní nemrznoucí složky všech chladicích kapalin motorů celosvětově nově vyráběných vozidel. Glykol je totiž zčásti nahrazen jiným vícesytným alkoholem, který na rozdíl od etylenglykolu není jedovatý. To by ještě nebylo samotným důvodem ke změně ve složení, protože obdobně neškodlivý propylenglykol je také známý jako alternativa pro chlazení už více než padesát let. Hlavním důvodem k využití nemrznoucích vlastností glycerinu je kromě jeho nezávadnosti pro člověka i životní prostředí zejména současný výhradní biologický původ této látky. To se o etylenglykolu zdaleka nedá říct. Jeho jediným zdrojem je ropa, resp. etylen z ní připravený. [10]

Složení

Koncentrát chladicí kapaliny tvoří obvykle etylenglykol, který je doplněn přibližně dvaceti procenty glycerinu. Směs potom brání zamrznání, posouvá výš bod varu a maže vodní pumpu. Pět procent tvoří aditiva a dalších pět voda. [11]

Inhibitory koroze

Chrání části přicházející do styku s chladicí kapalinou (u některých konstrukcích i celé vložky válců) před korozí. [11]

Stabilizátory

Zabraňují srážení minerálních inhibitorů, které udržují rozpuštěné v chladicí kapalině a zabráňují tvorbě vodního kamene. [11]

Alkalická rezerva

Zabraňuje okyselování chladicí kapaliny. S klesajícím pH (rostoucí kyselostí) se zvyšují sklony ke korozi, ale též dochází k elektrochemickým reakcím mezi jednotlivými kovy. Typicky mezi ocelovým těsněním a hliníkovou hlavou válců. Alkalická rezerva (jak se vlastnosti dosažené zvyšovači pH a inhibitory říká) tak především chrání před poškozením těsnění a dosedací plochy hlavy válců. Výrazně kyselá kapalina chemicky leptá hliník. [11]

Protipěnovostní přísady

Zabraňují pění, které by mohlo přispět k zavzdušňování chladicího a topného systému, čímž by došlo ke snížení účinnosti celé soustavy. [11]

Barvivo

Automechanici obvykle identifikují kapaliny podle barvy. Starší typy s minerálními aditivy či (G11) bývaly modrozelené, novější (G12) s organickými aditivy jsou červené, ještě novější (G12+, G12++ a G13) fialové. [11]

3.2 Komponenty chladicí soustavy

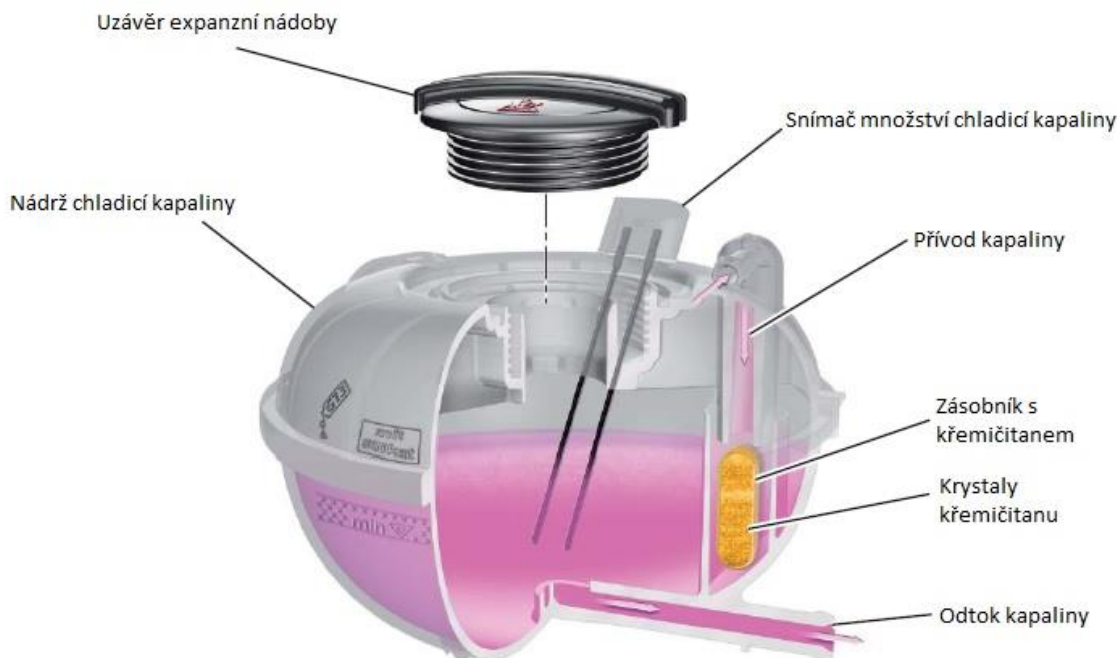
3.2.1 Tlaková vyrovnávací nádoba se silikátem

Tlakové expanzní nádoby slouží pro vyrovnávání změn objemu kapaliny způsobených změnami její teploty a udržení přetlaku soustavy v předepsaném rozmezí. [12]

Z pohledu konstrukce je vyrobena z polypropylenu a polyetylenu a celkový objem tvoří přibližně jeden a čtvrt litru. Optimální hodnota množství kapaliny představuje přibližně tři čtvrtě litru. Ve víčku vyrovnávací nádržky je přetlakový ventil, který umožní upuštění přetlaku ze systému, při nadměrném zahřátí motoru. Přetlakový ventil umožňuje zvýšení teploty chladicí kapaliny až na 110 °C, přičemž dojde ke zvýšení účinnosti chladicího systému. Nádrž je rovněž opatřena senzorem, který měří nejen množství, ale i kvalitu chladicí kapaliny a v případě jejího nedostatku či zhoršené kvality se na přístrojové desce rozsvítí příslušná kontrolka.

Součástí moderních nádob může být zásobník s křemičitanem (obrázek 3), který poskytuje ochranu proti korozi pro hliníkové komponenty v chladicím systému po celou dobu životnosti motoru.

Obrázek 3 - Tlaková vyrovnávací nádoba v řezu

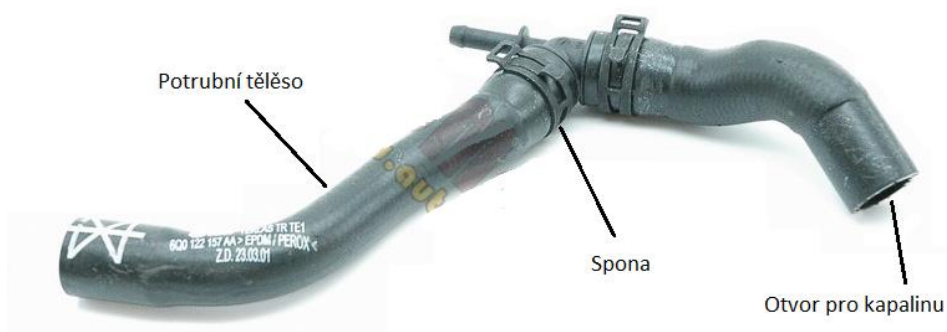


Zdroj: *Self Study Program 820433, The EA288 Diesel Engine Family, vlastní překlad*

3.2.2 Potrubí

Úkolem potrubního systému (obrázek 4) je přenos a rozvod chladicí kapaliny v chladicí soustavě. V okruhu se nacházejí potrubí různých průměrů a tvarů, které musí zajistit tvarovou stálost vzhledem k tepelnému namáhání z vnitřní i vnější strany a odolávat vystavenému tlaku. Na některých místech, zejména v blízkosti výfukové soustavy bývá potrubí opatřeno tepelným štítem. Vyrobeno je z Etylen-Propylenové pryže, která vyniká svou odolností proti zestárnutí, ozónu, ultrafialovým paprskům, má široký tepelný rozsah od -30°C až 140°C a je vyztužená textilními vlákny. Pro připevnění k jednotlivým dílům se využije pružnost materiálu k nasazení a jako pojistný element je použita kovová spona.

Obrázek 4 - Potrubí



Zdroj: <http://www.auto-masstin.cz/>, vlastní popis

3.2.3 Čerpadlo chladicí kapaliny

Úkolem čerpadla, které je zobrazeno na obrázku 5, je zabezpečení cirkulace chladicí kapaliny v okruhu chlazení. Distribuuje kapalinu do oblastí s vysokou teplotou, např. na stěny válců, hlavu motoru či okolí výfukových kanálů. Průtok musí zabezpečit co nejrovnoměrnější rozložení teplot v chlazených dílech motoru, aby nedocházelo k přehřívání. [8]

Obvykle je použité rotační odstředivé čerpadlo, které je poháněné od rozvodového mechanismu motoru. Oběžné kolo čerpadla je umístěné v chladicím systému a tlačí kapalinu podél lopatek k obvodu směrem ven, čímž dochází tak k nucenému proudění.

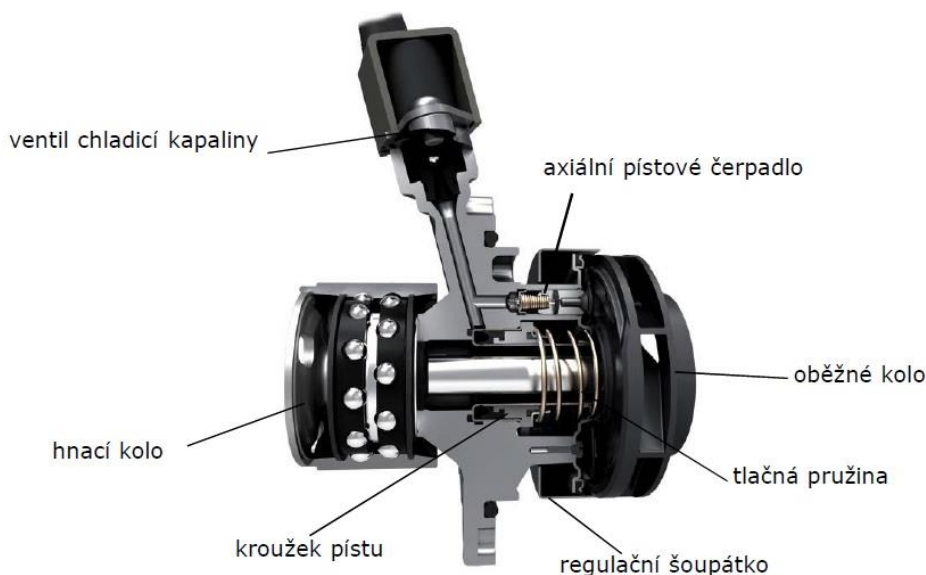
Efektivnost tohoto typu chlazení roste s rychlostí cirkulace kapaliny v systému motoru, s velikostí maximální teploty chladicí kapaliny a množstvím tepla předávaného jednotkou plochy výměníku tepla do okolního prostředí.

Modernější motory jsou opatřené čerpadlem, které lze v případě potřeby odpojit. V odpojeném stavu je lopatkové kolo čerpadla zakryté regulačním šoupátkem, tím nedochází k dopravě chladicí kapaliny a cirkulace v chladicím okruhu je zastavena. Tento stav je nazýván

„statické chlazení“. K volbě režimu, zda je čerpadlo připojené nebo odpojené, dochází pomocí elektromagnetického ventilu, který je součástí čerpadla. [5]

V případě, že je ventil chladicí kapaliny vadný, regulační šoupátko zůstává v počáteční poloze a kapalina proudí běžným způsobem. [7]

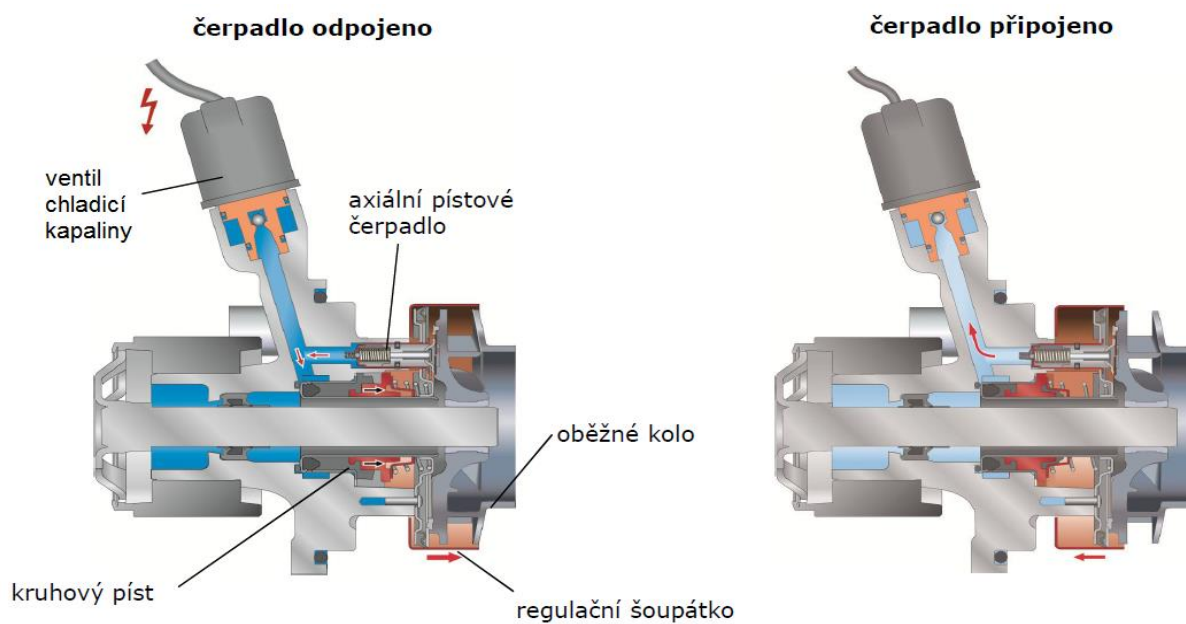
Obrázek 5 - Čerpadlo chladicí kapaliny v řezu



Zdroj: Self Study Program 820433, The EA288 Diesel Engine Family

Na níže uvedeném obrázku 6 je znázorněné odpojené a připojené čerpadlo, kde dochází k přesunutí regulačního šoupátka.

Obrázek 6 - Pracovní polohy čerpadla chladicí kapaliny



Zdroj: ŠKODA Service, Dílenská učební pomůcka, konstrukční řada EA288, vydání 100

3.2.4 Termoregulátor chladicí kapaliny (termostat)

Termostat upravuje proudění chladicí kapaliny od motoru k chladiči, čímž udržuje správnou pracovní teplotu motoru. Jde zpravidla o dvoucestný ventil, jehož aktivace nejčastěji probíhá pomocí voskového prvku. V závislosti na teplotě chladicí kapaliny dochází k přepínání mezi velkým a malým okruhem chladicí kapaliny.

Při zahřívací fázi motoru chladivo proudí z bloku válců k čerpadlu chladicí kapaliny, protože ventil v termostatu je zatím uzavřen, levá část obrázku 7. Po dosažení provozní teploty přibližně 85°C, dojde k otevření ventilu a kapalina proudí do velkého chladicího okruhu, viz pravá část obrázku 7.

Obrázek 7 - Termoregulátor chladicí kapaliny v řezu s ukázkou aktivace



Zdroj: ŠKODA Service, Dilenská učební pomůcka, konstrukční řada EA288, vydání 100

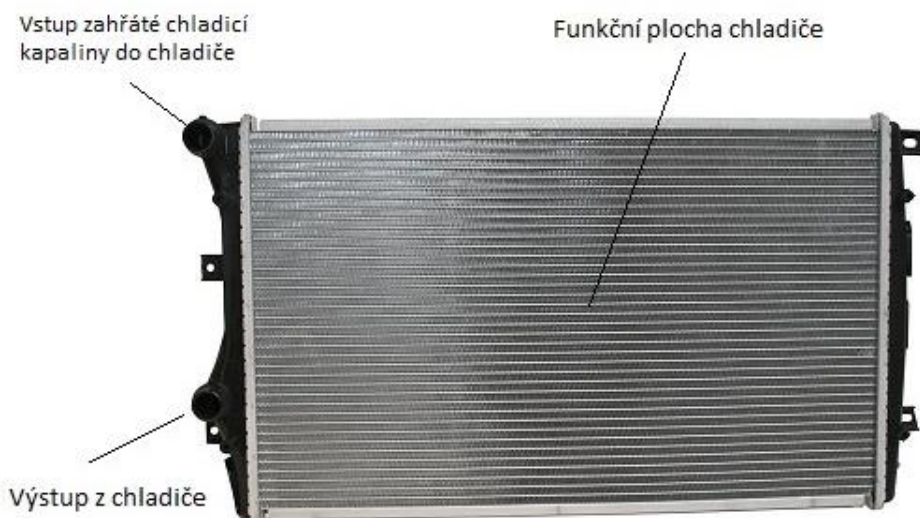
3.2.5 Chladič chladicí kapaliny

Úkolem tohoto tepelného výměníku, který se nachází na obrázku 8, je odvádění přebytečného tepla pomocí proudění vzduchu, které vzniká během jízdy vozidla. Na funkční plochu chladiče působí náporově okolní prostředí, čímž dochází ke zmíněnému odvodu tepla. Pokud by však chladicí efekt nebyl dostatečný, například z důvodu jízdy při nízké rychlosti vozidla či vysoké okolní teplotě, je zpravidla chladič vybaven ventilátorem, který je schopen zajistit potřebné chlazení.

Chladič je složen z trubek, ve kterých proudí chladicí kapalina a hliníkových lamel, které zvyšují účinnost odvodu tepla. Základní část tvoří potrubní kanály chladiče, které jsou pájeny s vlnovcem v ochranné atmosféře dusíku. Postranní komory a kryty mohou být hliníkové nebo plastové. [3]

Propojení chladiče s motorem je provedeno pomocí textílem vyztužených pružných pryžových hadic a spoj bývá zajištěn kovovými stahovacími sponami. Chladiče jsou upevněny vždy v pružných lůžkách, aby byly dobře chráněny před nárazy a vibracemi. [13]

Obrázek 8 - Popis chladiče chladicí kapaliny



Zdroj <http://www.eskoda-shop.cz/>, vlastní popis

3.2.6 Senzor teploty chladicí kapaliny

Teplota chladicí kapaliny je jedna z mnoha důležitých veličin, se kterou řídicí jednotka motoru pracuje. Senzor (obrázek 9) je v přímém kontaktu s chladicí kapalinou umístěn v systému chlazení.

Nejrozšířenější snímač teploty obsahuje teplotně závislý odpor typu NTC (Negative Temperature Coefficient) což znamená, že s rostoucí teplotou odpor klesá. Úbytek napětí na NTC odporu je úměrný teplotě a je vyhodnocován řídicí jednotkou. Aby došlo k vykompenzování nelinearity mezi napětím a teplotou, obsahuje řídicí jednotka ve své paměti datové pole, kde je ke každé hodnotě napětí uvedena odpovídající teplota motoru. Měřicí rozsah je v intervalu přibližně od -40 až $+130^{\circ}\text{C}$.

Obrázek 9 - Senzor teploty chladicí kapaliny



Zdroj: <http://www.autoalku.cz/>, vlastní popis

3.2.7 Ventilátor

Ventilátor, který je zobrazen na obrázku 10 slouží u moderních vozidel jako poslední stupeň regulace teploty chladicí kapaliny. Umístěn je nejčastěji před nebo za chladičem a zajišťuje dostatečný průtok vzduchu chladičem v případě, že proudící vzduch nestíhá odebrat přebytečné teplo z chladiče. Tento jev může nastat při jízdě v nízkých rychlostech nebo za vysokých teplot okolního prostředí, kdy proudící vzduch není schopen dostatečně ochlazovat na požadovanou teplotu.

Ventilátor chladiče je u osobních automobilů poháněn zpravidla vlastním elektromotorem. Výhodou bývá možnost regulace otáček, díky které se snadněji dosáhne požadované teploty. Pro vyšší chladicí výkon nebo chlazení jiných tepelných výměníků je možné použití více ventilátorů uvnitř plastového rámu.

Obrázek 10 - Ventilátor



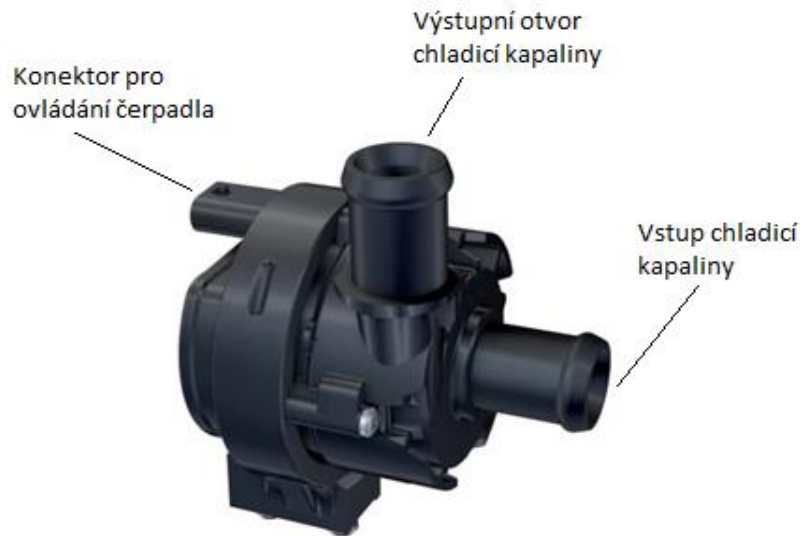
Zdroj: <http://www.granex.cz/>, vlastní popis

3.2.8 Elektrické oběhové čerpadlo chladicí kapaliny

Jde o elektricky řízené odstředivé čerpadlo se střídavým pohonem, které se aktivuje na příkaz řídicí jednotky. Podobných čerpadel může být v agregátu více a nalezneme je například v mikrookruhu, kde funguje jako pomocné čerpadlo topení a také v nízkoteplotním chladicím okruhu, kde slouží pro chlazení stlačeného vzduchu.

Kapalina je přiváděna vstupním otvorem k rotujícím lopatkám, které chladicí kapalině udělí energii a ta pokračuje výstupním otvorem do systému. Čerpadlo (obrázek 11) je opatřeno konektorem pro komunikaci s řídicí jednotkou.

Obrázek 11 - Elektrické oběhové čerpadlo chladicí kapaliny



Zdroj: Self Study Program 820433, The EA288 Diesel Engine Family, vlastní popis

3.2.9 Hlava válců

Hlava válce pístového spalovacího motoru společně se dnem pístu vytváří vhodně tvarovaný spalovací prostor, v němž probíhá rozhodující fáze spalování směsi paliva se vzduchem. Dalším požadavkem z pohledu konstrukce je umístění sacích kanálů a výfukového traktu, rozvodového a palivového mechanismu. [1]

V převážné většině se jedná o hliníkové slitiny, které jsou lehké, ale bohužel mohou být náchylné k deformacím.

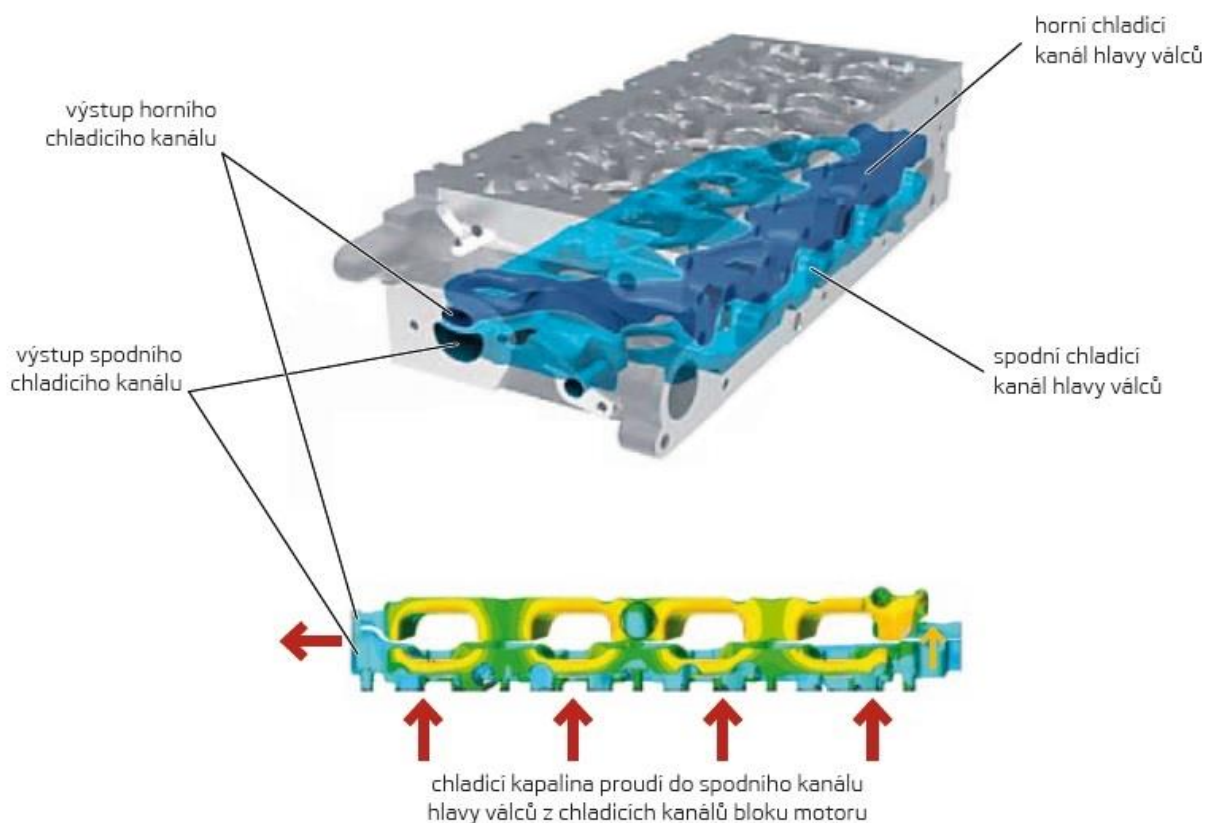
Z důvodu rychlého a efektivního chlazení spalovacího prostoru byly do hlavy válců zabudovány dva samostatné vodní pláště, které jsou umístěné nad sebou (obrázek 12) a jsou nazývány horním a spodním chladicím kanálem hlavy válců. Spojení proudů z horního a spodního kanálu na společném výstupu k výměníku tepla pro topení zajišťuje příruba topení, opatřená odvodušňovacím nátrubkem. [5]

U studeného motoru je chladicí kapalina horního a spodního chladicího kanálu hlavy válců vedena přes chladič recirkulace výfukových plynů k tepelnému výměníku. Tento princip zajišťuje rychlejší zahřátí motoru na provozní teplotu, čímž klesá spotřeba paliva a vnitřní prostor pro cestující může být rychleji vyhříván. [5]

Neobrobený odlitek hlavy válců nemá chladicí kanály spojené. Propojení spodního kanálu s horním vznikne vyfrézováním technologického otvoru z boku hlavy válců, který je poté kryt záslenkou. Takto vzniklým propojením proudí chladicí kapalina z dolního kanálu do horního. [5]

Hlava může být také opatřena ochrannou zátkou, která se v případě zamrznutí chladicí kapaliny protlačí a zamezí tak poškození dílu

Obrázek 12 - Hlava válců s ukázkou chladicích plášťů



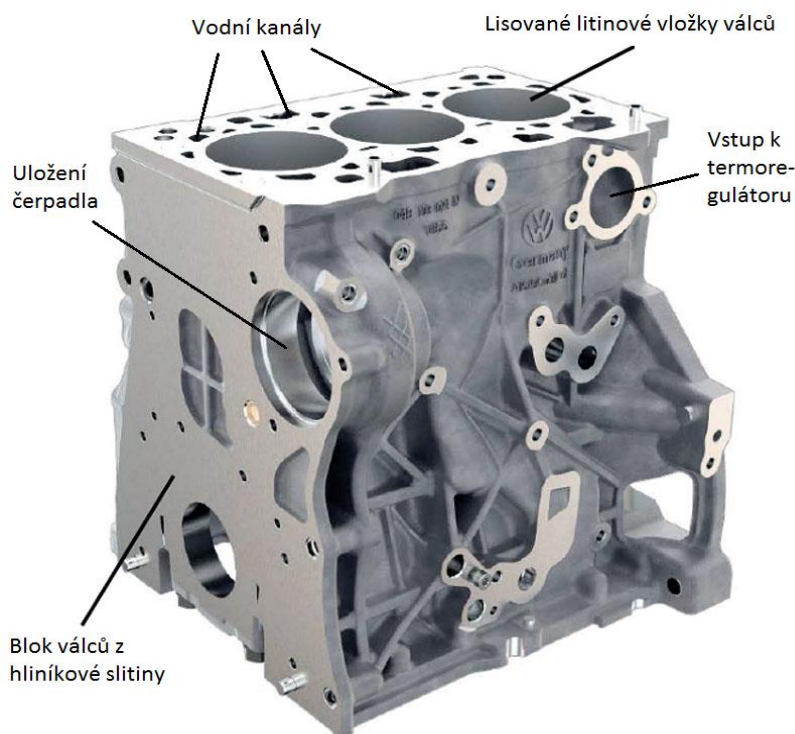
Zdroj: ŠKODA Service, Dilenská učební pomůcka, konstrukční řada EA288, vydání 100

3.2.10 Blok válců

Blok válců (obrázek 13) je základní konstrukční prvek všech spalovacích motorů, ve kterém je umístěna pístní skupina. Z pohledu konstrukce bývá nejčastěji vyroben z šedé litiny nebo hliníkových slitin. Podle provedení plochy bloku válců, na kterou dosedá hlava válců, lze rozdělit bloky kapalinou chlazených motorů na Open-deck (blok s otevřeným chladicím prostorem) a Closed-deck (blok s uzavřeným chladicím prostorem). [1] Každá tato konstrukce má své výhody i nevýhody. V našem případě je použit princip Closed-deck, u kterého je charakteristická vyšší tuhost bloku a je vyroben z hliníkové slitiny se za tepla lisovanými litinovými vložkami.

Výhodou použití hliníkové slitiny je značná úspora hmotnosti, která tvoří 11 kg oproti litinové konstrukci. Horní část bloku je opatřena vodními kanály, ve kterých proudí kapalina do spodního pláště hlavy válců. Dále se na přední straně nachází otvor pro uložení čerpadla tak, aby mohlo regulační šoupátko plnit svojí funkci. Blok je opatřen nejenom chladicemi, ale i řadou mazacích kanálů, které mimo jiné přivádějí tlakový olej do hlavy válců. [14]

Obrázek 13 - Blok válců se základním popisem



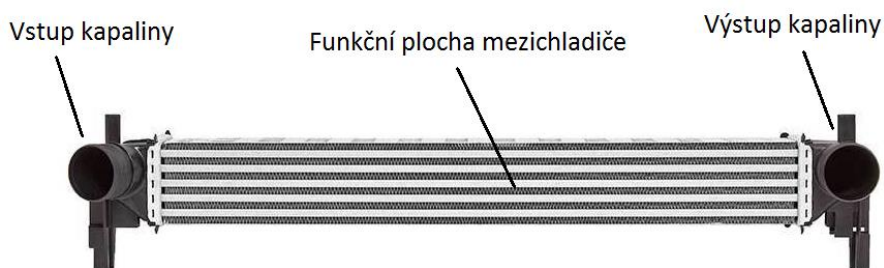
Zdroj: <http://www.auto.cz/technika-motor-1-4-tdi-z-nove-rodiny-ea288-83938/foto?foto=1>, vlastní popis

3.2.11 Chladič chladícího okruhu plnicího vzduchu (mezichladič)

Úkolem tohoto tepelného výměníku, který se nachází na obrázku 14, je ochlazovat stlačený vzduch, což umožňuje dopravit do válců vyšší hmotnost kyslíku a příznivě ovlivnit výkon motoru při zachování stejného zdvihového objemu. Mezichladič se u našeho vozidla nachází spolu s chladičem plnicího vzduchu a elektricky ovládaným čerpadlem v mikrookruhu, v těsné blízkosti hlavního chladiče a přední části vozu.

Jde o rozměrově menší tepelný výměník, který je opět tvořen z hliníkových lamel. V případě nedostatku chladícího efektu dochází k aktivaci ventilátoru pro optimalizaci teploty.

Obrázek 14 - Popis chladiče chladícího okruhu plnicího vzduchu



Zdroj <http://www.eskoda-shop.cz/>, vlastní popis

3.2.12 Chlazení plnicího vzduchu

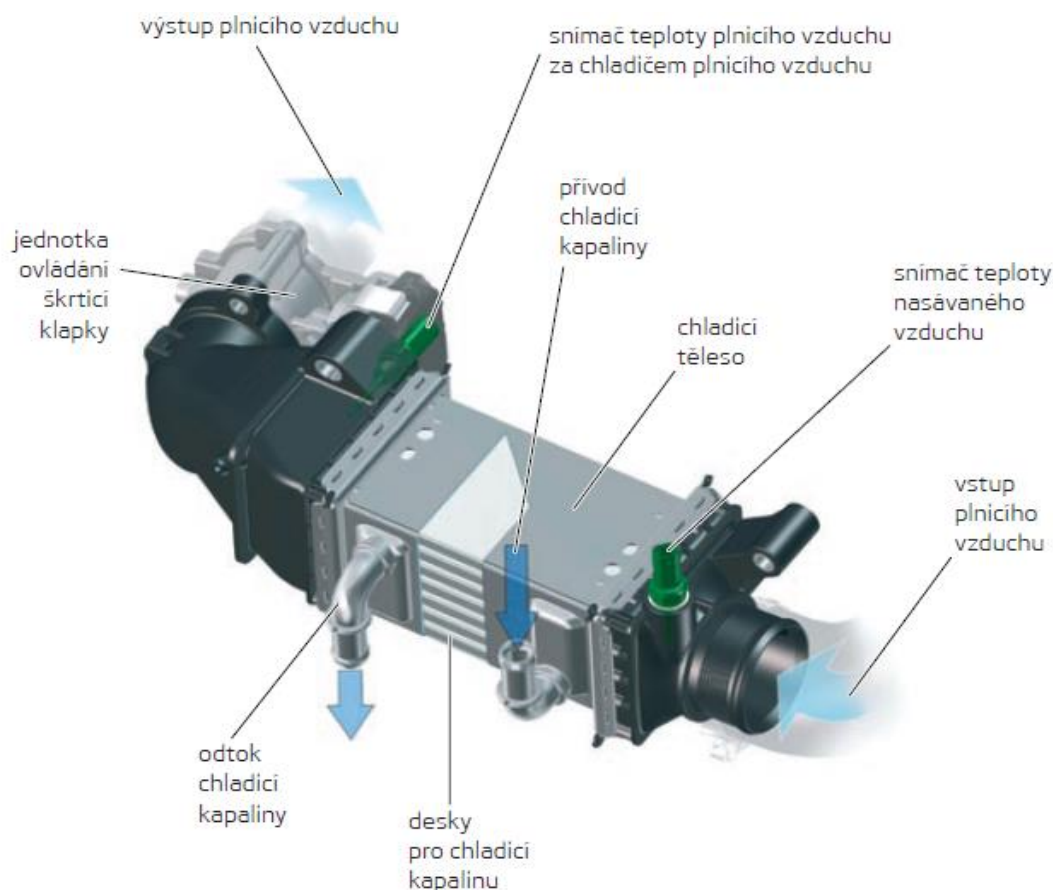
Obecně platí, že při stlačování vzduchu dochází k nežádoucímu nárůstu teploty a ani u turbodmychadel tomu není jinak. Naopak, teplota plynů v sání je navýšena zpětným přiváděním spalin před turbodmychadlo, a proto je nezbytné použití chladiče.

Chlazení plnicího vzduchu je realizováno pomocí odděleného nízkoteplotního okruhu chladicí kapaliny s výměníkem tepla voda-vzduch. Cirkulaci okruhem zajišťuje elektrické čerpadlo chladicí kapaliny s proměnnými otáčkami, které upravuje řídicí jednotka podle okamžitých požadavků. [5]

Kapalinou chlazený chladič plnicího vzduchu (obrázek 15) je umístěn v dráze plnicího vzduchu před jednotkou ovládání škrtkové klapky.

Těleso je opatřeno deskami ve tvaru písmene W a využívá se zde principu protiproudění. Speciální tvar chladicích desek rozděluje proud kapaliny po celé šířce ploché trubky a současně proudění i otáčí, což zajistí dostatečný přestup tepla z hliníkového plechu do chladicí kapaliny. [6]

Obrázek 15 - Chlazení plnicího vzduchu



Zdroj: ŠKODA Service, Dilenská učební pomůcka, konstrukční řada EA288, vydání 105

Snímač teploty nasávaného vzduchu zaznamenává teplotu nasávaného vzduchu před chladičem a snímač teploty plnicího vzduchu měří teplotu plnicího vzduchu za chladičem.

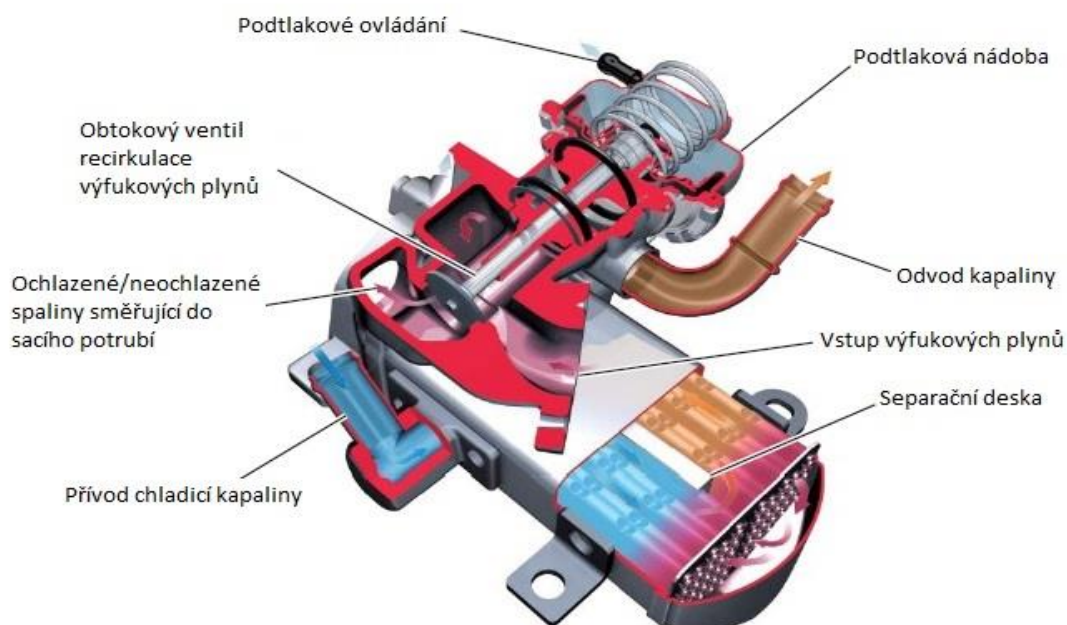
Pokud je skutečná teplota za chladičem plnicího vzduchu vyšší než požadovaná, aktivuje řídicí jednotka motoru čerpadlo chlazení plnicího vzduchu a do sacích kanálů začne proudit vzduch s optimální teplotou. [6]

3.2.13 EGR chladič

Díky přísnějším emisním předpisům musí být neustále zlepšovány metody snižování škodlivých látek a právě recirkulace výfukových plynů je jednou z metod, která umožňuje emise efektivně snižovat. Principem je vrácení již vzniklých výfukových plynů opět do sání, kde dojde ke smísení s čerstvým vzduchem. Vzhledem k nižšímu podílu kyslíku ve směsi dochází ke snížení rychlosti a teploty v průběhu spalování, čímž se výrazně omezí vznik oxidů dusíku. Produkce částic NO_x roste exponenciálně s teplotou při spalování, a proto i malé snížení teploty má značný vliv na jejich produkci.

EGR chladič (obrázek 16) je jedním z nejdůležitějších prvků celého systému recirkulace spalín. Jde o relativně sofistikovanou součást, která musí odolávat agresivnímu prostředí, zejména teplým výfukovým plynům a rovněž zajistit dokonalou těsnost z důvodu proudění chladicí kapaliny. Pro výrobu se používá nerezová ocel, která je schopna dlouhodobě odolávat vnějším vlivům. Existují různé typy výměníků, které se zpravidla rozdělují podle proudění výfukových plynů a chladicí kapaliny. [4]

Obrázek 16 - EGR chladič s popisem

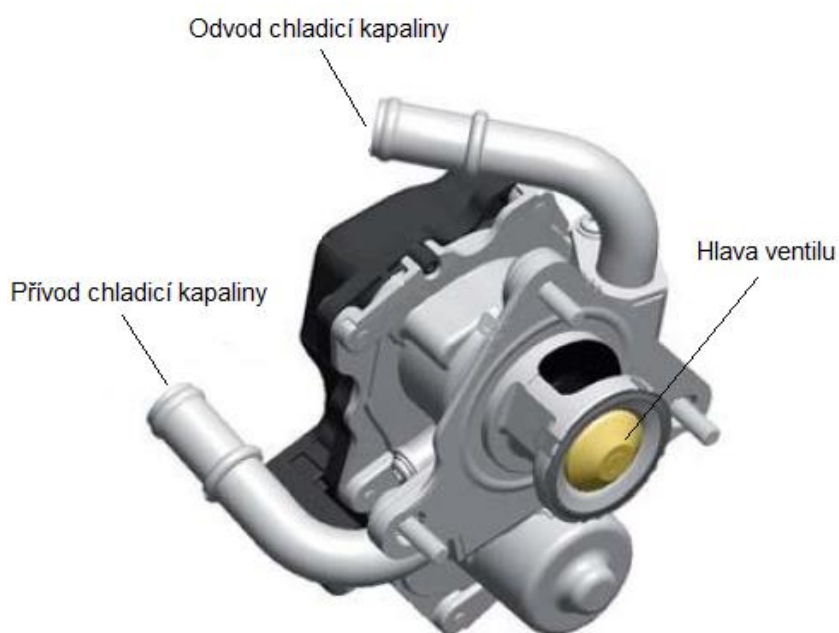


Zdroj: *Self Study Program 820433, The EA288 Diesel Engine Family, vlastní překlad*

3.2.14 Ventil zpětného vedení výfukových plynů

EGR ventil který je na obrázku 17, otevírá průchod výfukovým plynům zpět do sacího potrubí, aby určité množství výfukových plynů mohlo být opětovně přivedeno do spalovacího prostoru. Množství recirkulovaných výfukových plynů se ovládá podle výšky zdvihu hlavy ventilu, kde pohyb je u novějších variant zajištěn pomocí elektrického krokového motoru. Chladicí kapalina se používá zejména k ochraně ventilu z důvodu vysokých teplot výfukových plynů.

Obrázek 17 - EGR ventil



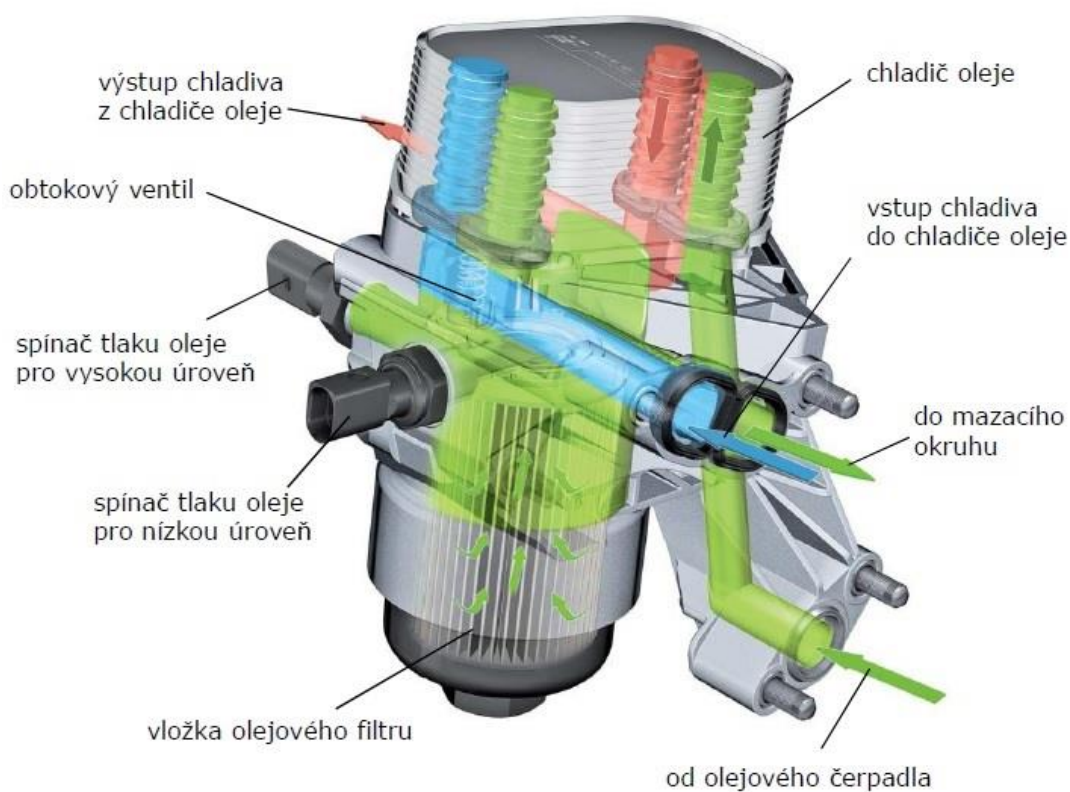
Zdroj: 49 TT 5228 - Škoda - motory, korekce, popis

3.2.15 Modul olejového filtru

Modul olejového filtru (obrázek 18) je soubor prvků, který obsahuje kromě samotného filtru také hliníkový chladič motorového oleje a spínače tlaku oleje. Vyměnitelná vložka olejového filtru je umístěna v pouzdře s obtokovým ventilem, který se stává aktivním v případě, že dojde k ucpání olejového filtru, aby bylo i v takovém případě zajištěno mazání motoru. [5]

Modul je přišroubován k bloku motoru a dotěsněn tak, aby nedocházelo k úniku provozních náplní. Chladicí kapalina proudí z bloku motoru do modulu a dále do chladiče oleje, kde odebere přebytečné teplo a pokračuje k termostatu.

Obrázek 18 - Modul olejového filtru



Zdroj: ŠKODA Service, Dílenská učební pomůcka, konstrukční řada EA288, vydání 100

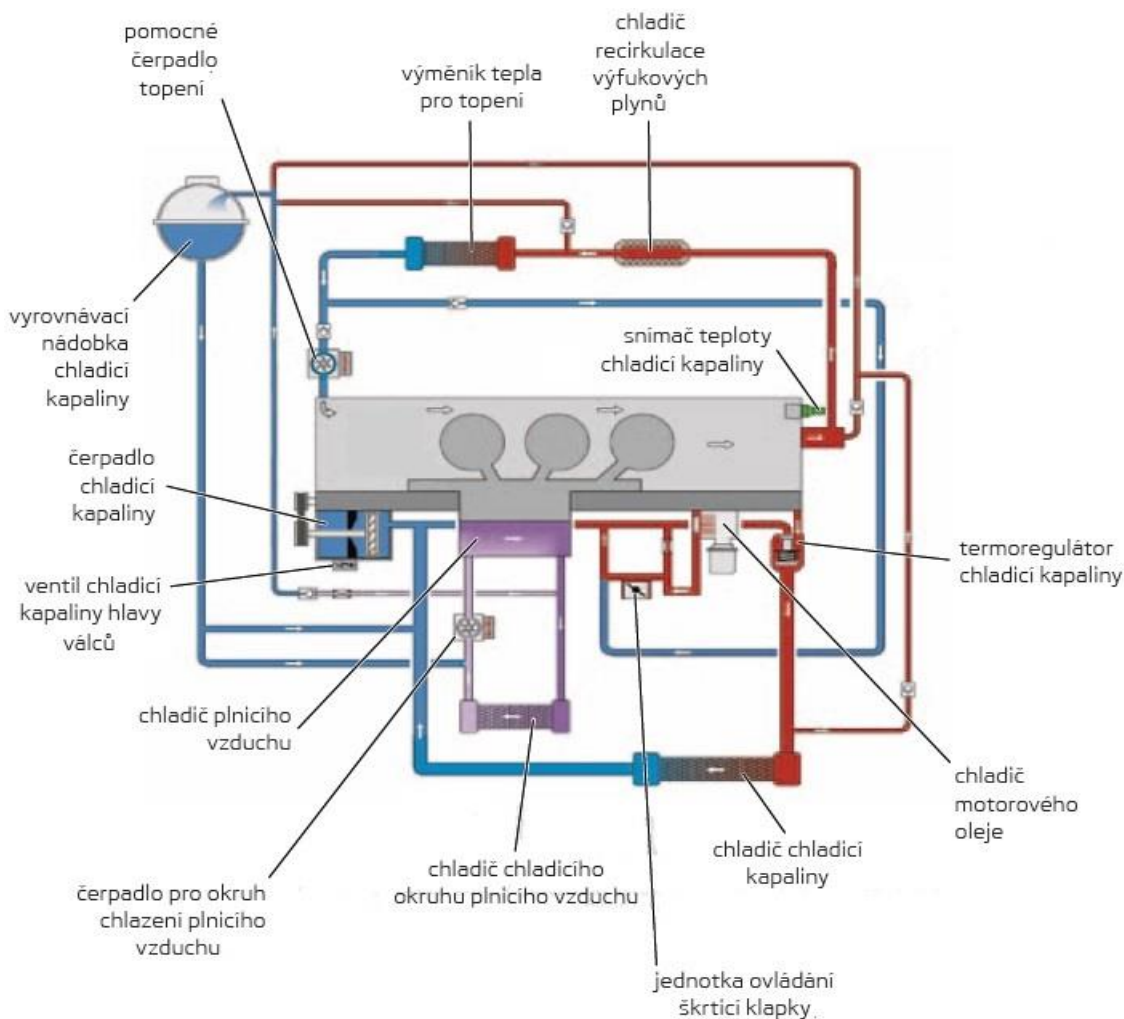
3.3 Okruhy chladicích soustav

Moderní chladicí systémy (obrázek 19) jsou vybaveny inteligentními více okruhovými systémy řízení teploty motoru, které optimálně rozdělují získané teplo. Jádrem chladicí soustavy je připojitelné čerpadlo a termoregulátor chladicí kapaliny, který v závislosti na stupni zahřátí motoru blokuje nebo naopak připojuje velký chladicí okruh. Celý systém je navržen tak, aby byla co nejvíce zkrácena ohřívací fáze po studeném startu. Dalšími úkoly systému jsou co nejrychlejší zahřátí interiéru vozidla a provozování agregátu v teplotách, při kterých dochází k co nejmenšímu vnitřnímu tření motoru. Díky této koncepci je možné docílit snížení výfukových zplodin spolu se spotřebou paliva. [5]

Chladicí soustavu tvoří tyto okruhy:

- malý chladicí okruh (mikrookruh)
- malý chladicí okruh při vysokém zatížení motoru
- velký chladicí okruh (vysokoteplotní chladicí okruh)
- chladicí okruh chlazení plnicího vzduchu

Obrázek 19 - Přehled chladicí soustavy



Zdroj: ŠKODA Service, Dílenská učební pomůcka, konstrukční řada EA288, vydání 100, korekce

3.3.1 Malý chladicí okruh - mikrookruh

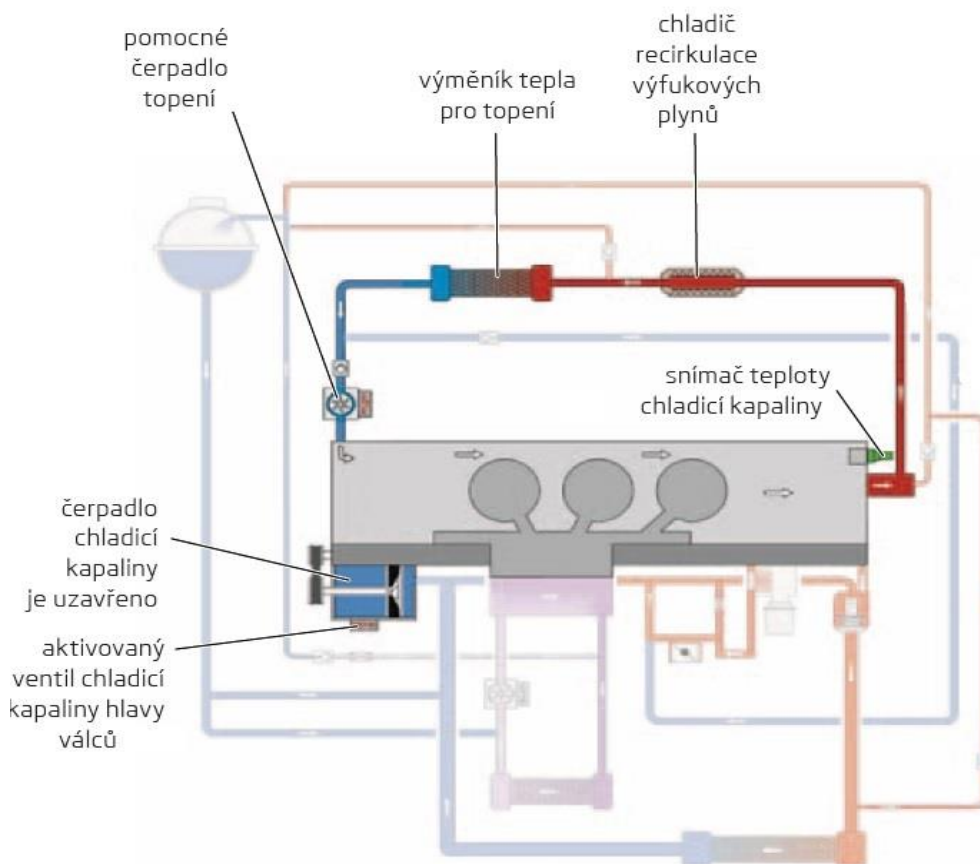
Aktivní prvky:

- hlava válců
- výměník tepla pro topení
- chladič recirkulace výfukových plynů EGR
- elektrické přídavné čerpadlo chladicí kapaliny (uzavřené)

Při studeném motoru je aktivní malý chladicí okruh (obrázek 20) aby bylo zaručeno rychlé ohřátí motoru, případně vnitřního prostoru vozidla. Hlavní připojitelné čerpadlo chladicí kapaliny je pod proudem, což znamená, že regulační šoupátko zakrývá lopatky a čerpadlo je tím vyřazeno z provozu. Vodní okruh blokem motoru je tak odpojen a nedochází v něm k pohybu chladicí kapaliny a dochází tak k velmi rychlému zahřátí studeného motoru. [5]

V případě požadavku na rychlé zahřátí vnitřního prostoru (požadavek řidiče na teplotu je sledován řídicí jednotkou klimatizace) je aktivováno eklektické pomocné čerpadlo pro topení. Tím dojde k cirkulaci chladicí kapaliny v malém chladicím okruhu a zahřátí výměníku tepla pro topení. [5]

Obrázek 20 - Schéma aktivních prvků malého chladicího okruhu (mikrookruhu)



Zdroj: ŠKODA Service, Dílenská učební pomůcka, konstrukční řada EA288, vydání 100, korekce

3.3.2 Malý chladicí okruh - při vysokém zatížení motoru

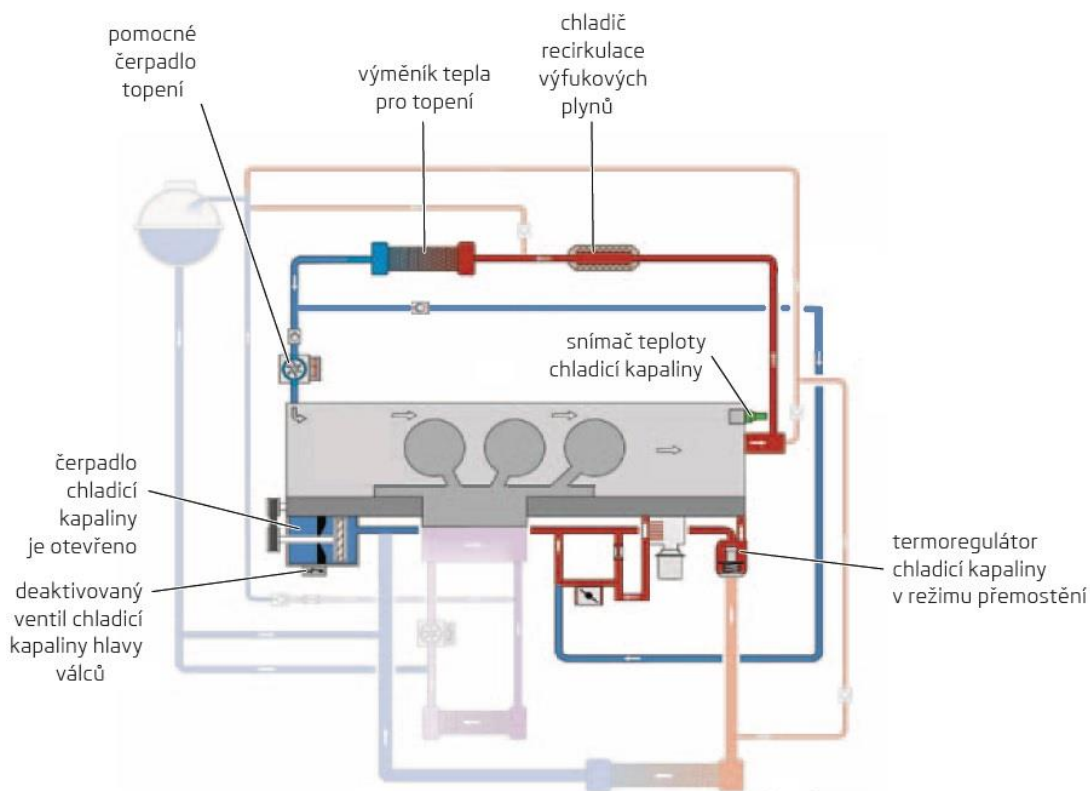
Aktivní prvky:

- hlava válců
- výměník tepla pro topení
- chladič recirkulace výfukových plynů EGR
- elektrické přídavné čerpadlo chladicí kapaliny (otevřené i uzavřené)
- blok motoru (za určitých podmínek)
- chladič motorového oleje
- termoregulátor v režimu přemostění

V případě, že se zvyšuje zatížení motoru a otáčky stoupnou nad 3000 otáček za minutu, dojde k aktivaci hlavního připojitelného čerpadla tím, že dojde k odkrytí šoupátka a chladicí kapalině je umožněno proudit blokem motoru. V případě, že otáčky motoru klesnou pod 2000 min⁻¹, hlavní připojitelné čerpadlo chladicí kapaliny se zakryje a motor je pak opět provozován ve stavu s necirkulující chladicí kapalinou kolem bloku. [5]

Hlavní čerpadlo chladicí kapaliny je trvale aktivováno při překročení teploty chladicí kapaliny v hlavě válců nad 60°C. Při této teplotě lze motor považovat za již prohřátý, ale protože chladicí kapalina ještě nedosáhla provozní teploty, termoregulátor je stále v režimu přemostění a neotvírá cestu k velkému chladicímu okruhu. [5]

Obrázek 21 - Schéma aktivních prvků malého chladicího okruhu při vysokém zatížení



Zdroj: ŠKODA Service, Dílenská učební pomůcka, konstrukční řada EA288, vydání 100, korekce

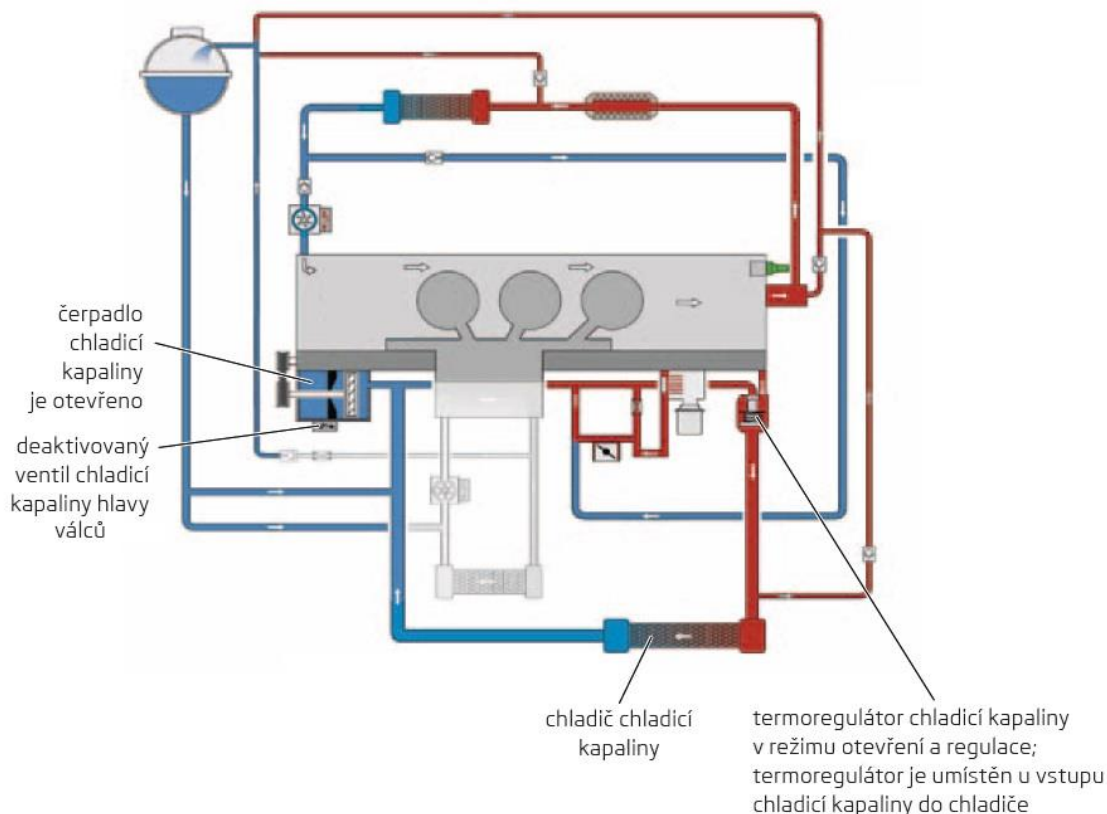
3.3.3 Velký chladicí okruh - vysokoteplotní chladicí okruh

Aktivní prvky:

- hlava válců
- výměník tepla pro topení
- chladič recirkulace výfukových plynů EGR
- elektrické přídavné čerpadlo chladicí kapaliny (otevřené)
- chladič motorového oleje
- blok motoru
- termoregulátor v režimu otevření
- chladič chladicí kapaliny
- vyrovnávací nádoba

Tento režim nastává v případě, že chladicí kapalina dosáhne provozní teploty, kdy dochází k otevření termoregulátoru a chladicí kapalina začne proudit velkým okruhem. Velký chladicí okruh je schopen odvádět veškeré přebytečné teplo i při vysoké a dlouhodobé zátěži spalovacího motoru. V případě potřeby je možné použití ventilátoru umístěného před chladičem chladicí kapaliny, který zajistí dostatečné chlazení zejména při spuštění motoru na místě. [5]

Obrázek 22 - Schéma aktivních prvků velkého chladicího okruhu



Zdroj: ŠKODA Service, Dílenská učební pomůcka, konstrukční řada EA288, vydání 100, korekce

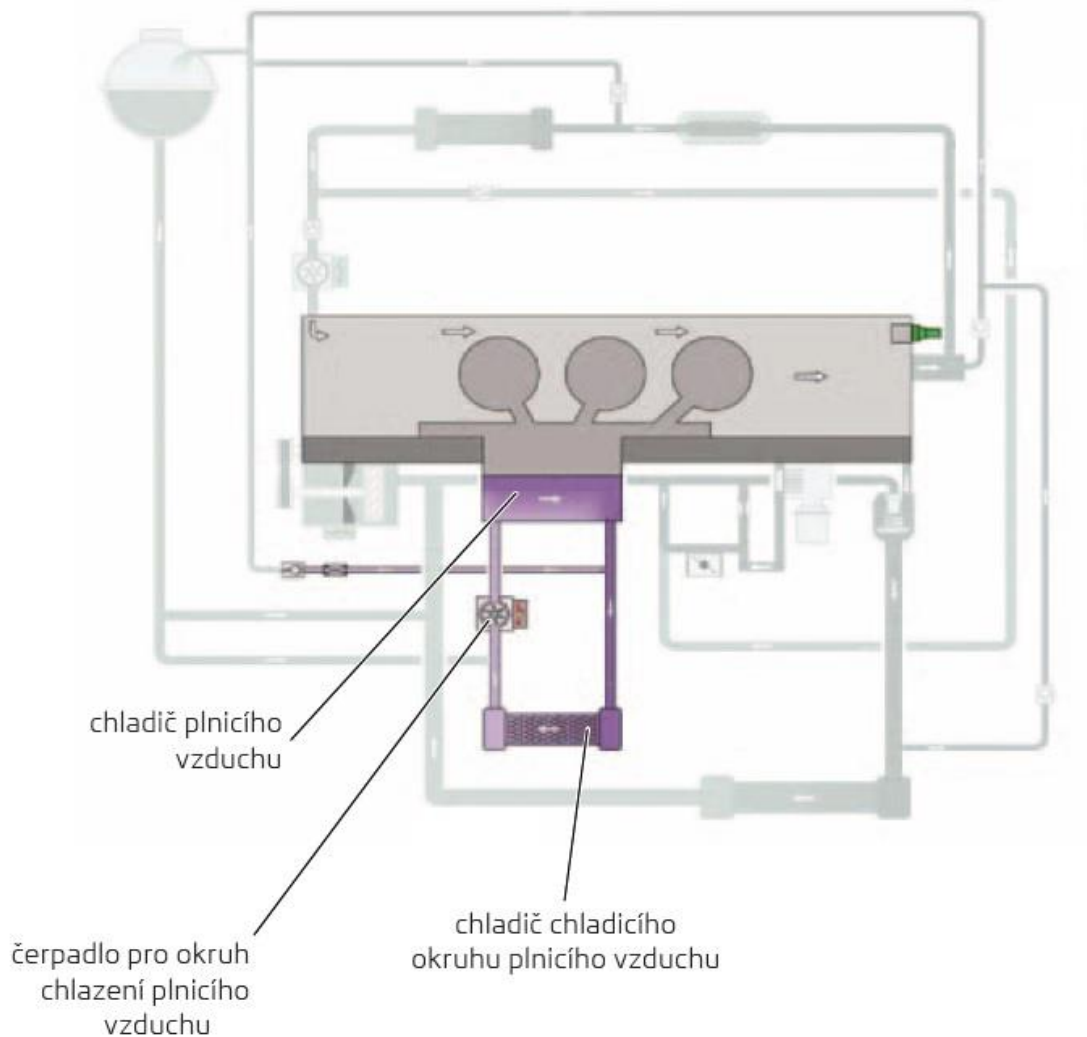
3.3.4 Okruh chladicí kapaliny pro chlazení plnicího vzduchu

Aktivní prvky

- chladič plnicího vzduchu
- chladič chladicího okruhu plnicího vzduchu
- elektrické čerpadlo

Vodní okruh pro chlazení plnicího vzduchu je zcela samostatný a pracuje nezávisle na ostatních. Slouží pouze pro ochlazení stlačeného vzduchu za turbodmychadlem. Cirkulaci kapaliny zajišťuje elektricky ovládané čerpadlo s proměnnými otáčkami, pro které je hlavní veličinou teplota v sacím potrubí. Tato hodnota je měřena snímačem teploty plnicího vzduchu, který je umístěn za chladičem plnicího vzduchu. Řídící jednotka na základě získaných informací umožňuje regulovat otáčky čerpadla podle potřeb motoru. [5]

Obrázek 23 - Schéma aktivních prvků pro chlazení plnicího vzduchu



Zdroj: ŠKODA Service, Dílenská učební pomůcka, konstrukční řada EA288, vydání 100, korekce

4. Metodika a postup práce

Cílem toho projektu bylo posouzení vlivu degradované chladicí kapaliny na životnost a funkci jednotlivých dílů. Koncentrát nové chladicí kapaliny G13 byl umístěn do pece z důvodu simulace tepelného namáhání kapaliny na teplotu 130°C po dobu tří týdnů. Po vyjmutí z pece bylo zjištěno, že chladicí kapalina během degradace zvětšila svůj objem, proto částečně z nádoby vytekla, nicméně i tak zbylo potřebné množství na experiment. Dále bylo nutné zajistit vozidlo, do jehož chladicího systému byla degradovaná kapalina naplněna a test mohl začít.

Za pohonnou jednotku byl vzhledem ke složitosti systému a počtu chlazených dílů zvolen moderní vznětový agregát. Zkušební vozidlo najezdilo celkem 100 000 km během pěti měsíců, přičemž veškeré jízdy byly sledovány s ohledem na chlazení. Zkušební vozidlo nevykazovalo během testu žádné závady ve spojitosti s chladicím systémem.

Po ukončení testu byla kapalina z vozu vypuštěna, motor demontován a umístěn na pracoviště, kde jsem se mohl plně věnovat jeho demontáži. Kapalina byla předána k analýze, aby bylo možné porovnat novou, degradovanou z pece a vypuštěnou. Před začátkem postupného rozebírání chladicího systému bylo nutné základní prostudování dílenské příručky, pořízení snímků a popis jednotlivých hadic.

Obrázek 24 - Spalovací motor určený k analýze



Prvním úkolem byla demontáž elektroinstalace, odpojení jednotlivých konektorů a snímačů včetně opětovného dokumentování. Další krok představoval demontáž hadic a postupné vyjmutí všech dílů, které měly spojitost s chlazením. Snadněji se demontoval chladič stlačeného vzduchu, EGR chladič včetně ventilu a oběhové pumpy. Následoval termoregulátor s chladičem oleje. Naopak demontáž čerpadla (obrázek 25) byla možná až po sundání rozvodového mechanismu motoru a hlava motoru až po odstranění katalyzátoru, filtru pevných částic a turbodmychadla.

Po demontáži dílů (obrázek 26) které mají souvislost s chladicím systémem, následovala analýza v místních laboratořích. Díly byly ověřovány z pohledu funkčnosti, těsnosti a následně demontovány nebo i rozřezány pro zjištění míry vnitřního poškození.

Obrázek 25 - Demontáž čerpadla chladicí kapaliny



Obrázek 26 - Demontované díly, které mají spojitost s chladicím systémem

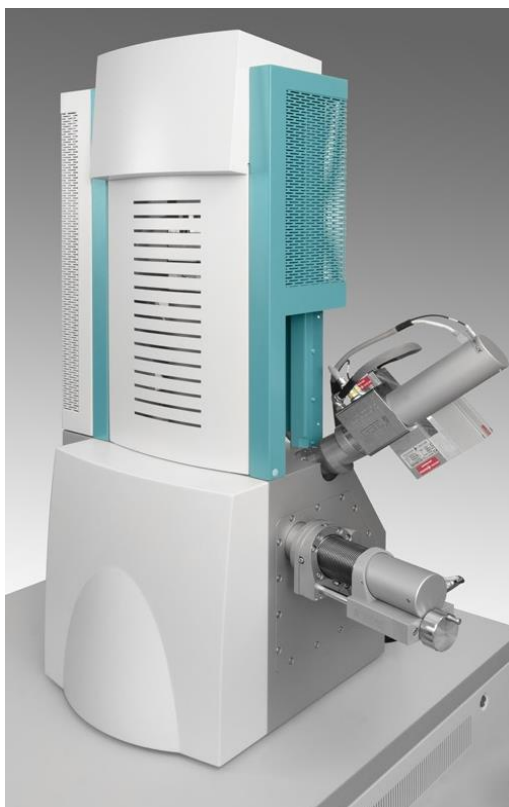


4.1 Použité měřicí přístroje

4.1.1 Rastrovací elektronový mikroskop VEGA3 XM

Pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu na obrázku 27, jehož technické parametry jsou uvedeny v tabulce 1, byla provedena spektrální analýza veškerých usazenin nacházejících se v chladicím systému. Výsledkem je vždy grafické znázornění prvků a jejich procentuální zastoupení.

Obrázek 27 - Rastrovací elektronový mikroskop



<http://www.tescan.com/cz/produkty/vega-sem/vega3-xm>

Tabulka 1 - Technické parametry elektronového mikroskopu

Technické parametry	Hodnoty
Elektronový paprsek	Wolframem žhavená katoda
Rozlišení	3 nm při 30 kV / 2 nm při 30 kV
Zvětšení	1x - 1,000,000x
Maximální zorné pole	24 mm na 30 mm WD
Urychlovací napětí	200 V až 30 kV
Rychlost skenování	Od 20 ns do 10 ms na pixel

4.1.2 Videoskop HUTERMANN HIC-36SD

Videoskopem na obrázku 28 a technickými parametry uvedenými v tabulce 2, byla provedena vizuální kontrola vnitřních částí hlavy a bloku motoru. Výsledkem jsou snímky z téměř nebo úplně nepřístupných míst chladicího systému.

Obrázek 28 - Videoskop



Zdroj: <http://www.kameryshop.cz/>

Tabulka 2 - Technické parametry videoskopu

Technické parametry - kamera:	Hodnoty
Ohebný kabel-husí krk délky	1 metr
Kamera ve vodotěsné snímací hlavě	IP67
Rozlišení	704x576 bodů
Úhel záběru	50°
Průměr snímací hlavy	9 mm
Bezdrátový přenos	2,4 GHz
Technické parametry - LCD monitor	Hodnoty
Obrazovka LCD barevná	3,5'
Rozlišení	320 x 240 bodů
Napájení: napaječ	5V
Rychlost záznamu	30 sn/s (cca 27MB/min)
Bezdrátový přenos	2,4 GHz, max 10m
Rozměr	100 x 70 x 25 mm

4.1.3 Termokamera FLUKE Ti32

Termokamerou na obrázku 29 s technickými parametry uvedenými v tabulce 3, byla provedena termovizní analýza šíření tepla chladicím systémem. Výstupem z termovizní kamery je infračervený snímek rozložení teplot.

Obrázek 29 - Termokamera



Zdroj: [http://www.fluke.com/fluke/czcs/termokamery/fluke-ti32-\(europe\).htm?pid=56185](http://www.fluke.com/fluke/czcs/termokamery/fluke-ti32-(europe).htm?pid=56185)

Tabulka 3 - Technické parametry termokamery

Technické parametry	Hodnoty
Rozsah měření teploty	-20 °C až +600 °C
Přesnost měření teplot	±2 °C nebo 2 %
Typ detektoru	320 x 240
Teplotní citlivost (NETD)	≤0,045 °C (45 mK)
Minimální vzdálenost ostření	46 cm (přibl. 18")
Standardní typ infračerveného objektivu	Zorné pole: 23° x 17°

4.2 Analýza chladicích kapalin

V prvním řádku tabulky číslo 4 jsou uvedeny hodnoty udávané výrobcem, druhý řádek patří koncentrátu degradované chladicí kapaliny a poslední pochází z vozidla po ujetí 100 000 km.

Degradovaná chladicí kapalina nepatrně zvětšila svoji hustotu, index lomu zůstal téměř nezměněn a pH také. Alkalická rezerva splňuje podmínku, ale obsah vody se vlivem tepla snížil. Vypuštěná kapalina měla lehce zvýšenou hustotu, protože obvyklá hodnota je 1,07 g/cm³. Index lomu je nižší než u nové kapaliny. Nižší hodnota pH a alkalické rezervy je pravděpodobně způsobená teplem a přístupem vzduchu, kdy glykol oxiduje na kyselinu a tím dochází ke změně uvedených vlastností.

Z tabulky číslo 4 je patrné, že chladicí kapalina umístěná v peci při teplotě 130°C po dobu tří týdnů nevykázala žádné významnější změny vlastností a zachovala si tedy většinu ze svých základních parametrů.

Tabulka 4 - Výsledky chladicích kapalin

	hustota [g/cm³]	Index lomu [-]	pH [-]	alkalická rezerva ml HCl do 5,5 pH	H₂O [%]
Nová chladicí kapalina G13	1,142	1,438	8	> 5,0	5
Degradovaná chladicí kapalina (koncentrát)	1,1438	1,4377	7,9	6,7	3,6
Vypuštěná kapalina z vozu (ředěná)	1,08785	1,3902	7,1	5,3	52,4

Hustota byla změřena hustoměrem, index lomu refraktometrem, pH pH metrem a alkalická rezerva titračně s pH elektrodou.

Hustota je fyzikální veličina, která vyjadřuje jakou hmotnost má jednotkový objem látky [15].

Index lomu je bezrozměrná veličina specifická pro dané optické prostředí resp. pro danou dvojici prostředí. Charakterizuje rychlost světla v daném prostředí [16].

pH je číslo, kterým v chemii vyjadřujeme, zda roztok reaguje kyselou či naopak zásaditě. Jedná se o logaritmickou stupnici s rozsahem hodnot od 0 do 14. Alkalická rezerva zabraňuje okyselení chladicí kapaliny. S klesajícím pH se zvyšují sklony ke korozi, ale též dochází k elektrochemickým reakcím mezi jednotlivými kovy [17].

4.3 Analýza dílů

4.3.1 Tlaková vyrovnávací nádoba se silikátem

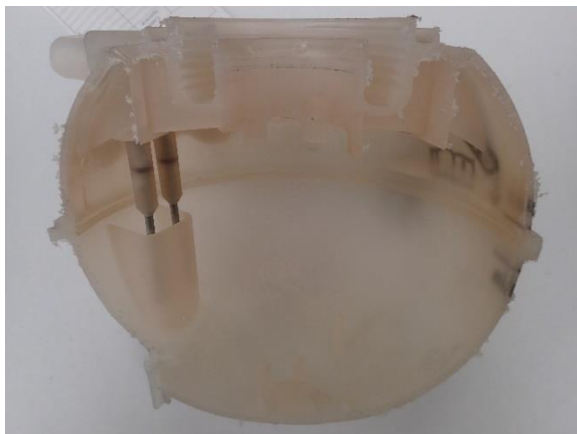
Obrázek 30 - Tlaková vyrovnávací nádoba



Demontovaná tlaková nádoba (obrázek 30) je v plně funkčním stavu bez viditelného poškození. Přívod kapaliny spolu s odtokem jsou průchozí a přetlakový ventil uložený ve víčku rovněž plní svou funkci. Po rozříznutí dílu nebylo nalezeno nic nestandardního, žádné usazeniny ani nečistoty. Snímač množství kapaliny fungoval během testu spolehlivě, čemuž nasvědčuje i čistota kontaktů.

Poslední kontrola byla zaměřená na sáček s křemičitanem a plastové úlomky pocházející z tlakové nádoby. Mohlo by se stát, že se zásobník protrhne a dojde k postupnému vypadávání granulí křemičitanu. Granule, případně tvrdé plastové úlomky mohou nejen poškodit některá z čerpadel, ale i zneprůchodnit zúžená místa v chladicím systému. V našem případě zásobník (obrázek 32), nebyl poškozen ani jinak deformován. Díl nevykazoval během provozu žádné nesrovnalosti, a proto lze říci, že degradovaná kapalina ani kilometrový průběh motoru neměly na tuto součást větší vliv.

Obrázek 31 - Tlaková nádoba v řezu



Obrázek 32 - Zásobník s křemičitanem



4.3.2 Potrubí

Obrázek 33 - Potrubí



Úkolem pryžového potrubí (obrázek 33) je přenos chladicího média mezi jednotlivými komponenty chladicího systému tak, aby nedocházelo k jeho únikům. Potrubí je v našem případě relativně nové a zatím se výrazně neprojevil faktor času, který by měl vliv na popraskání případně ztrouchnivění. Po rozřezání (obrázek 34 a 35) bylo nalezeno znečištění v podobě usazenin na různých místech. Velké množství usazenin vykazoval nejen okruh pro chlazení přepřívání, ale i velký chladicí okruh. Pro zjištění materiálového složení byly odebrány vzorky k analýze. Obrázky 36 - 39 ukazují nalezené usazeniny.

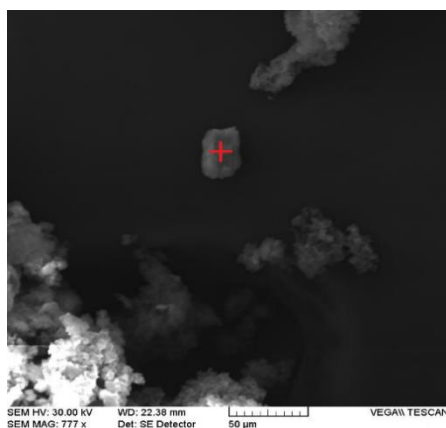
Obrázek 34 - 1. Řez potrubím



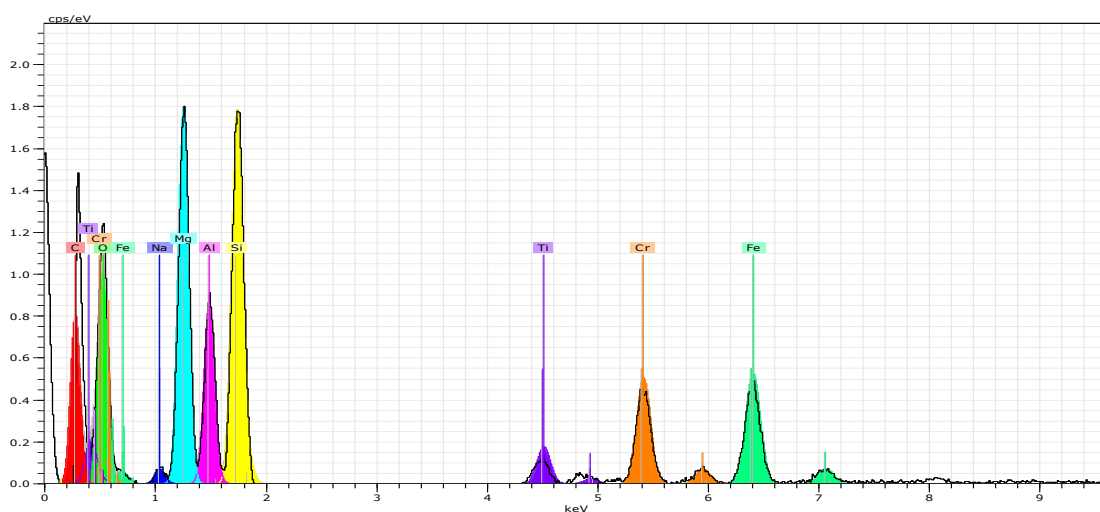
Obrázek 35 - 2. Řez potrubím



Obrázek 36 - 1. Nečistota z potrubí



Graf 1 - Spektrální analýza nečistoty z potrubí 1

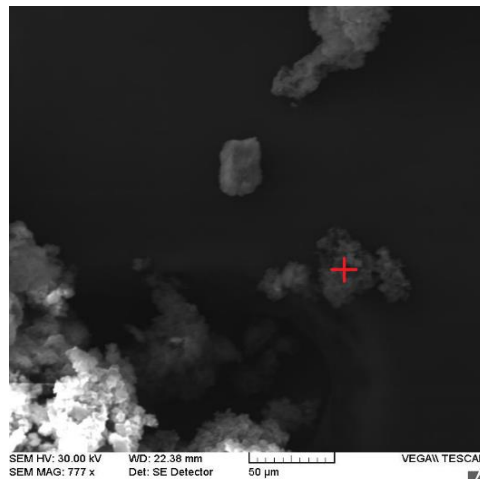


V levé části grafu číslo 1 je patrné větší množství hořčíku, hliníku a křemíku, což odpovídá slitině hliníku. Toto materiálové složení pravděpodobně připadá na částici pocházející z bloku motoru nebo se může jednat o částici prachu. V pravé části grafu je viditelné větší množství chromu, železa a titanu což představuje slitinu železa a pravděpodobně se jedná o korozivzdornou ocel pocházející například z EGR chladiče.

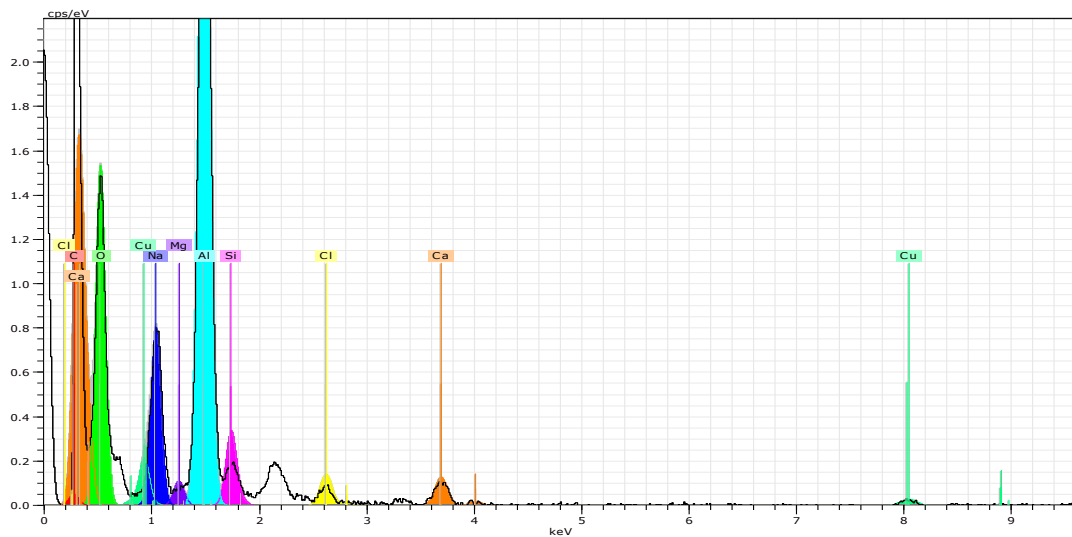
Tabulka 5 - Chemické složení nečistoty z potrubí 1

Prvek	Zastoupení [%]
Uhlík	14,48
Hořčík	6,72
Hliník	2,73
Křemík	4,66
Chrom	2,2
Železo	3,11
Kyslík	65,15
Celkem	100

Obrázek 37 - 2. Nečistota z potrubí



Graf 2 - Spektrální analýza nečistoty z potrubí 2

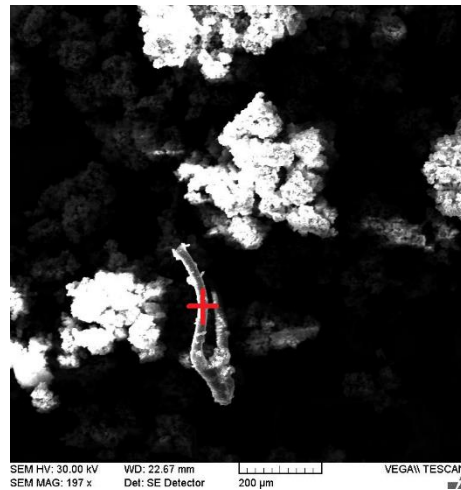


Usazenina z obrázku 37 je z velké části tvořena hliníkem a pravděpodobně pochází z chladiče kapaliny nebo bloku motoru. Další významnou složkou je kyslík, který poukazuje na zoxidovanou usazeninu.

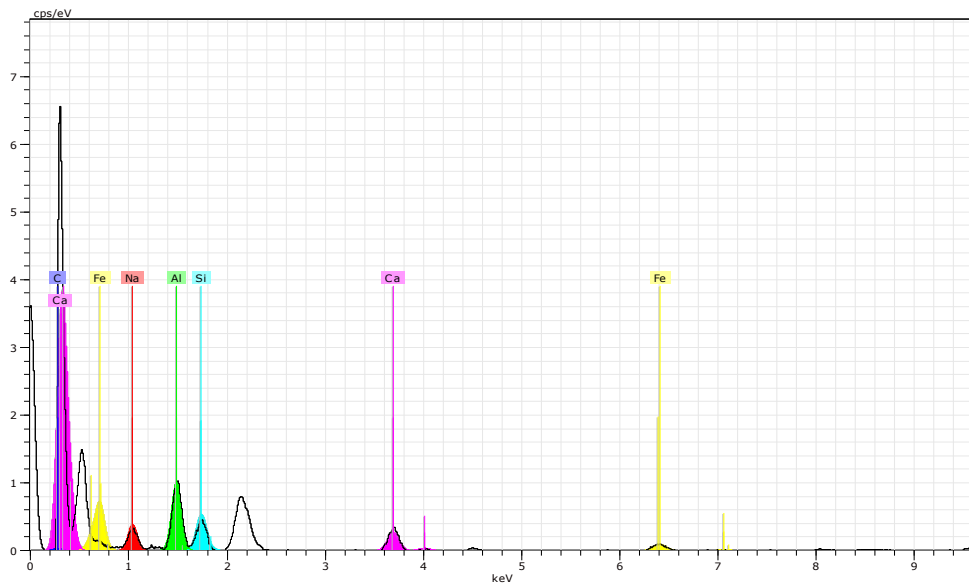
Tabulka 6 - Chemické složení nečistoty z potrubí 2

Prvek	Zastoupení [%]
Sodík	10,24
Hliník	29,13
Křemík	3,2
Chlór	1,03
Vápník	1,09
Měď	0,65
Hořčík	1,05
Kyslík	52
Celkem	100

Obrázek 38 - 3. Nečistota z potrubí



Graf 3 - Spektrální analýza nečistoty z potrubí 3

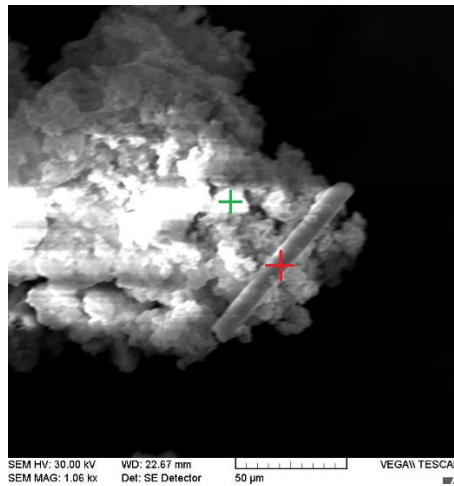


Velké zastoupení uhlíku poukazuje na polyamid, který se používá jako plnivo pro plast. Částice může pocházet například z expanzní nádoby případně jiného plastového dílu.

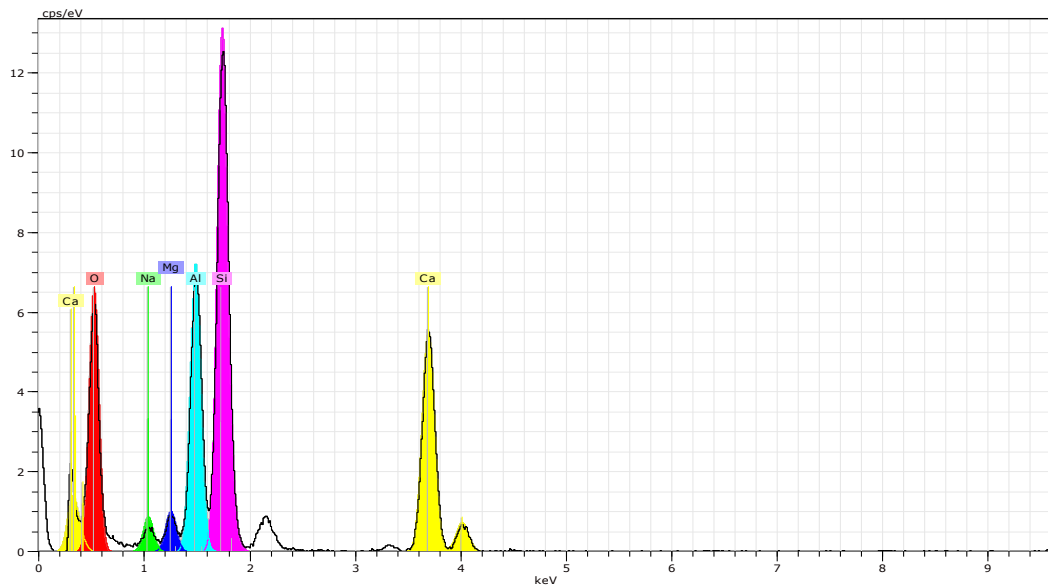
Tabulka 7 - Chemické složení nečistoty z potrubí 3

Prvek	Zastoupení [%]
Sodík	1,14
Hliník	1,56
Uhlík	95,61
Křemík	0,76
Vápník	0,57
Železo	0,35
Celkem	100

Obrázek 39 - 4. Nečistota z potrubí



Graf 4 - Spektrální analýza nečistoty z potrubí 4 (červený křížek)



Velké množství hliníku, křemíku a vápníku v grafu číslo 4 poukazuje na vápenaté sklo a plnivo v plastu. Zelený křížek na obrázku 39 zastupuje sraženinu oxidu hlinitého pocházející pravděpodobně z bloku motoru.

Tabulka 8 - Chemické složení nečistoty z potrubí 4 (červený křížek)

Prvek	Zastoupení [%]
Sodík	3,09
Hořčík	2,36
Hliník	13,24
Křemík	25,61
Vápník	13,17
Kyslík	42,53
Celkem	100

4.3.3 Čerpadlo chladicí kapaliny

Obrázek 40 - Čerpadlo chladicí kapaliny



Čerpadlo chladicí kapaliny (obrázek 4) lze považovat za srdce celého systému a jeho spolehlivost musí být co nejvyšší. Na straně bloku motoru, kde je čerpadlo umístěno, nebyly patrné stopy po úniku kapaliny ani jiné poruchy. Po demontáži následovala kontrola ložisek a vizuální kontrola vnitřních ploch.

Důležitou součástí na tomto čerpadle je regulační šoupátko, které je ovládáno tlakovou silou elektromagnetického ventilu. Pokud dojde k jeho zaseknutí v počáteční poloze, motor se optimálně neprohřívá, respektive prohřátí by trvalo déle a nekorespondovalo by s chladicími okruhy. V případě zaseknutí zakrytého oběhového kola nedochází k rozvodu kapaliny v soustavě, což vede ke značným problémům z důvodu přehřátí motoru.

Činnost regulačního šoupátka (obrázek 41) jsem simuloval pomocí přetlakové pumpy a potvrdil funkčnost. Vzhledem k důležitosti tohoto dílu byl osloven výrobce, aby poskytl kompletní analýzu našeho vzorku.

Obrázek 41 - Zkouška regulačního šoupátka



Obrázek 42 - Povrch oběžného kola



Obrázek 43 - Rozbor čerpadla od dodavatele



Vyjádření dodavatele včetně obrázku 43.

Vizuální kontrola:

Drobné usazeniny na lopatkovém kole na straně kapaliny (obrázek 42).

Výsledek statické zkoušky těsnosti:

Míra netěsnosti je 0,56 ccm / min (MAX 8 ml / min.), i. O.

Výsledek dynamického funkčního testu:

Čerpadlo nevykazovalo v průběhu dynamické zkoušky žádné abnormality týkající se viditelného prosakování a hluků.

Závěr:

Čerpadlo splňuje požadované specifikace - čerpadlo je v pořádku.

4.3.4 Termoregulátor chladicí kapaliny (termostat)

Obrázek 44 - Termoregulátor



Termoregulátor (obrázek 44) vypadal po vyjmutí v pořádku bez známek poškození či netěsnosti. Pro zjištění funkčnosti byla použita ohřátá voda, která simulovala prostředí v motoru. Po nalití a krátkém setrvání se ventil otevřel a vodu přepustil dál, čímž prokázal svoji funkčnost.

Po tomto pokusu následovalo vysušení, demontáž (obrázek 45) a vizuální kontrola vnitřních stěn. Jak je patrné z obrázku 46, na stěnách je velmi tenká vrstva bílého povlaku, který však dle mého názoru nemá vliv na správnou činnost termoregulátoru. Povlak bylo možné prstem odstranit a vzhledem k velikosti vnitřního průměru tělesa i ventilu, nešlo o nic podstatného. Spíše se jedná o běžné opotřebení a degradovaná kapalina a ani jiné faktory termoregulátor neovlivnily.

Obrázek 45 - Rozebraný termoregulátor



Obrázek 46 - Vnitřní stěna termoregulátoru



4.3.5 Chladič chladicí kapaliny

Obrázek 47 - Chladič chladicí kapaliny



Základním požadavkem na chladič kapaliny během provozu je celková těsnost včetně propojení pryžových hadic s motorem. Na funkční plochu chladiče negativně působí okolní prostředí, kterému musí jednotlivé lamely odolávat. Největším rizikem jsou drobné tvrdé předměty o vysoké rychlosti, nejčastěji jde o kamínky nebo nečistoty z povrchu vozovky. Náš vzorek na obrázku 47 vykazuje menší mechanické poškození, které však nemá vliv na funkčnost ani na netěsnost chladiče.

Po demontáži postranního víka (obrázek 48) je zřejmé znečištění ve spodní části dílu, které může mít vliv na funkčnost. Pohled na chladič v řezu prokazuje sníženou průchodnost trubek, proto byl odebrán vzorek na bližší analýzu nečistot.

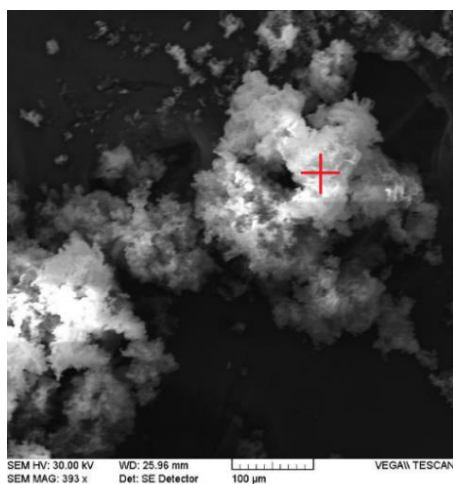
Vzhledem k nízké pevnosti materiálu došlo během řezání pásovou pilou k menším deformacím.

Obrázek 48 - Chladič bez postranního víka

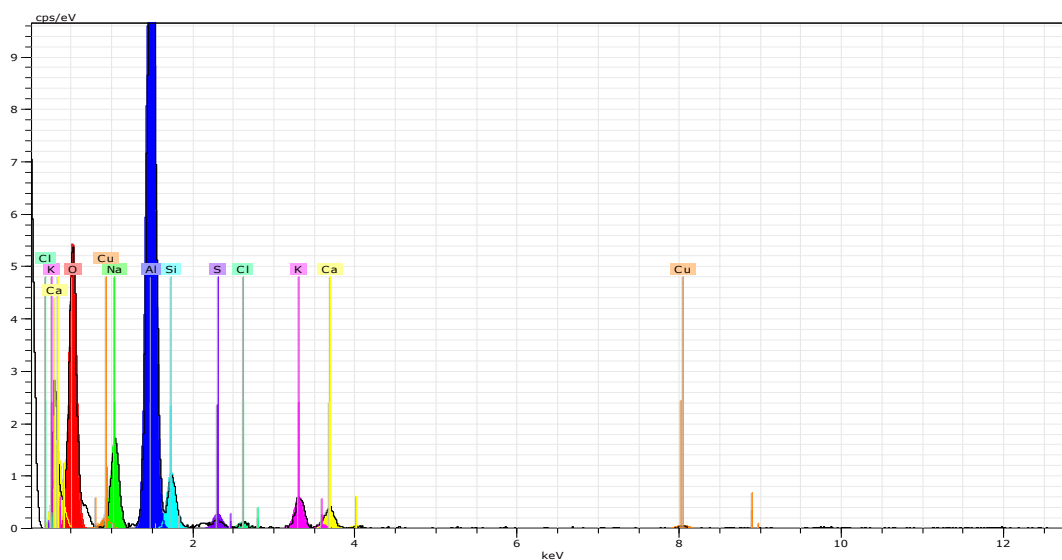
Obrázek 49 - Chladič v řezu



Obrázek 50 - 1. Nečistota z chladiče



Graf 5 - Spektrální analýza nečistoty z chladiče 1

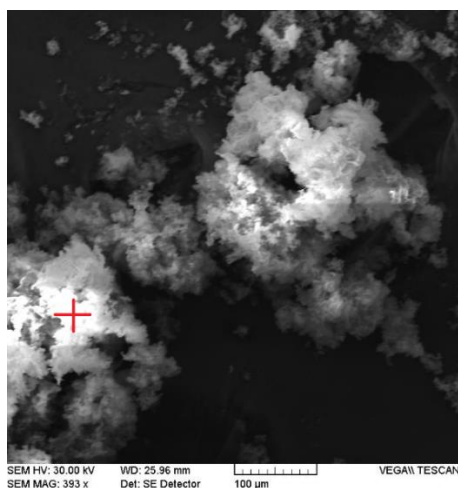


Na obrázku 50 je zobrazena porézní usazenina tvořená převážně z hliníku, sodíku, křemíku s příměsí mědi viz tabulka 9. Pravděpodobně půjde o částici vyloučenou z chladiče.

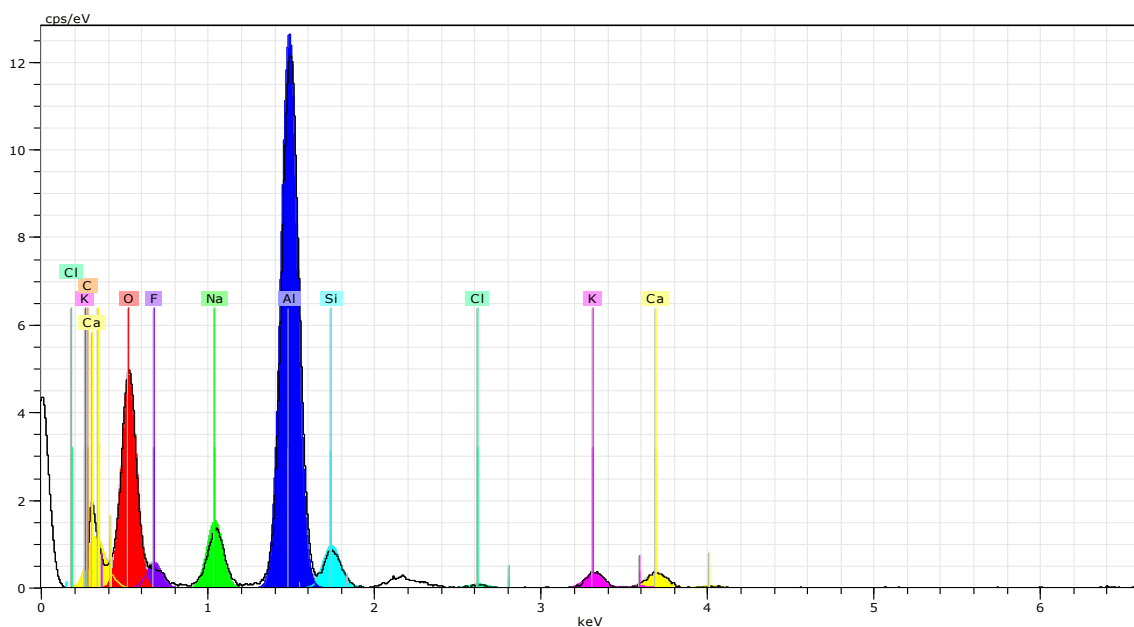
Tabulka 9 - Chemické složení nečistoty z chladiče 1

Prvek	Zastoupení [%]
Sodík	6,86
Hliník	29,61
Křemík	2,97
Draslík	1,33
Vápník	0,96
Měď	0,4
Chlór	0,27
Síra	0,61
Kyslík	56,98
Celkem	100

Obrázek 51 - 2. Nečistota z chladiče



Graf 6 - Spektrální analýza nečistoty z chladiče 2



Tabulka 10 - Chemické složení nečistoty z chladiče 2

Prvek	Zastoupení [%]
Sodík	7,39
Hliník	31,1
Křemík	3,13
Draslík	0,86
Vápník	0,99
Uhlík	0,06
Chlór	0,23
Fluor	34,11
Kyslík	22,13
Celkem	100

4.3.6 Elektrické oběhové čerpadlo chladicí kapaliny

Obrázek 52 - Elektrické oběhové čerpadlo



Jak už je nám známo, čerpadel ve vozidle může být více a v našem případě jsou dvě (obrázek 52). Jedno je v mikrokruhu a druhé v okruhu pro chlazení plicího vzduchu. Obě se nacházejí v těsné blízkosti v zadní části motoru nedaleko olejové vany. Na vstupním a výstupním otvoru čerpadla jsou nasazeny pryžové hadice upevněné kovovými sponami.

Žádné z čerpadel během zkoušky nevykazovalo chybové události a při pohledu není patrné nic zvláštního. Následovala demontáž prvního čerpadla (obrázek 53) z mikrokruhu, která neprokázala žádné nečistoty ani usazeniny a lopátkové kolo se bez problému volně pohybovalo. Demontáž druhého čerpadla (obrázky 54 a 55) byla o poznání zajímavější, jelikož lopátkové kolo je z velké části zanesené, a proto byl odebrán vzorek k rozboru usazenin.

Obrázek 53 - Lopátkové kolo prvního čerpadla



Obrázek 54 - Lopatkové kolo druhého čerpadla



Obrázek 55 - Detail lopatkového kola

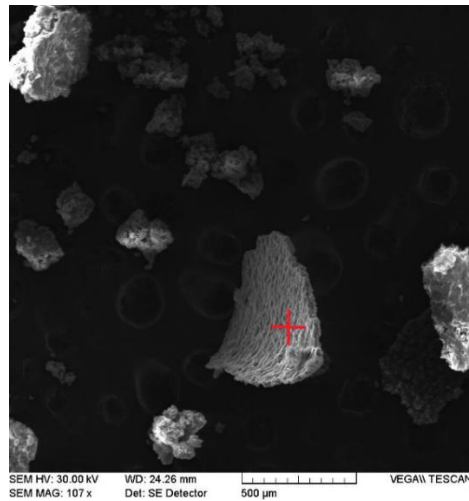


Na obrázku 56 je porovnání obou oběhových čerpadel a je zjevné, že čerpadlo pro chlazení přeplňování je značně znečištěné usazeninami.

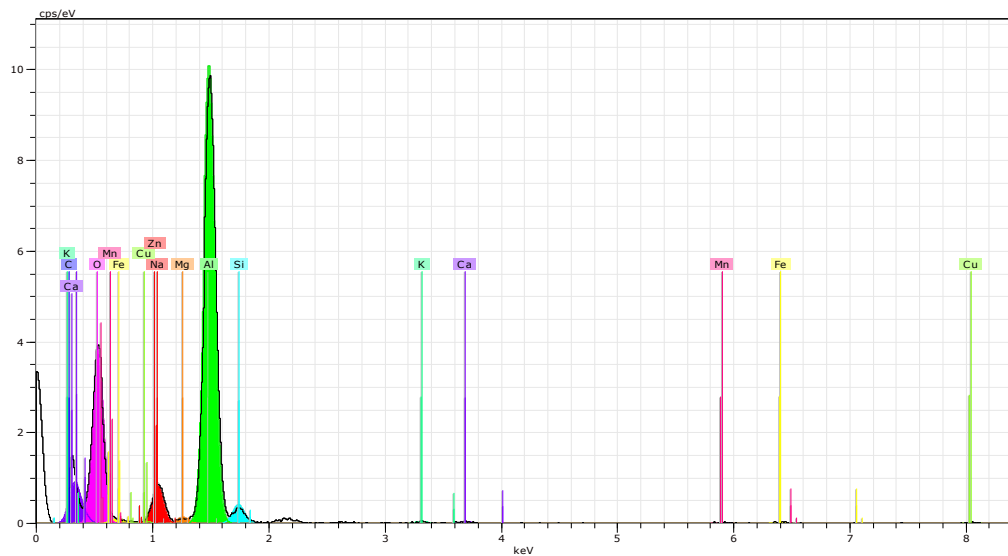
Obrázek 56 - Porovnání prvního čerpadla (vlevo) a druhého čerpadla (vpravo)



Obrázek 57 - 1. Nečistota z doběhového čerpadla



Graf 7 - Spektrální analýza nečistoty z čerpadla 1

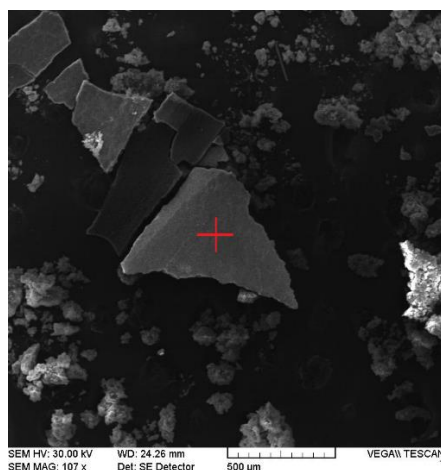


Usazeniny, které pocházejí z lopatek čerpadla, mají velmi zajímavý homogenní tvar. Jedná se o materiál s větší hustotou, pravděpodobně o šupinu nebo krustu. Složením dominuje hliník a kyslík a jedná se o oxid hlinitý, viz tabulka 11.

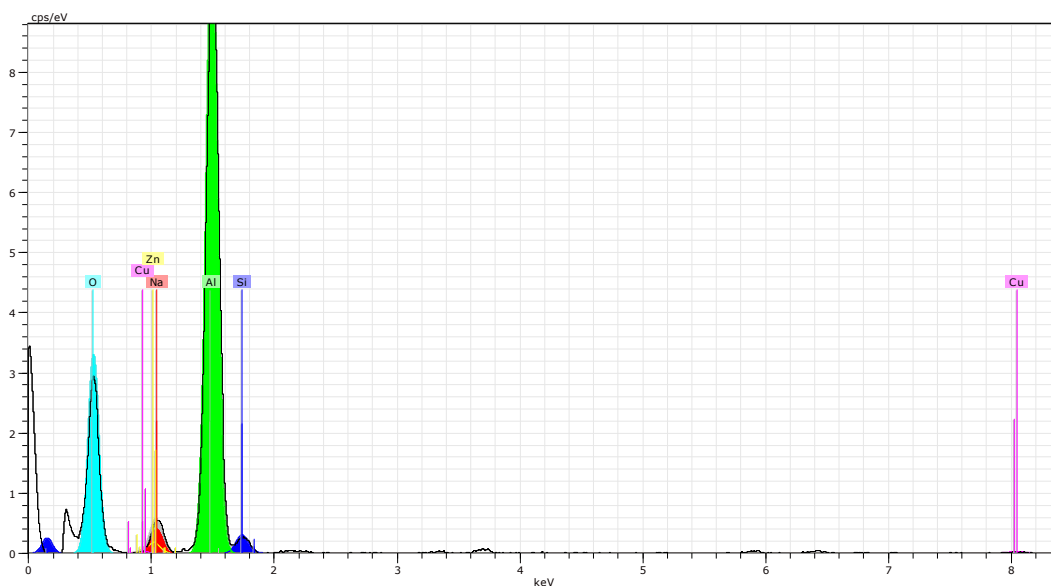
Tabulka 11 - Chemické složení nečistoty z čerpadla 1

Prvek	Zastoupení [%]
Sodík	5,79
Hliník	38,3
Křemík	2,32
Hořčík	0,64
Mangan	0,22
Měď	0,29
Zinek	0,32
Kyslík	51,47
Celkem	100

Obrázek 58 - 2. Nečistota z doběhového čerpadla



Graf 8 - Spektrální analýza nečistoty z čerpadla 2



Opět se jedná o homogenní usazeninu tvořenou oxidem hlinitým. V malém množství jsou zastoupeny sodík, křemík a zinek viz tabulka 12.

Tabulka 12 - Chemické složení nečistoty z čerpadla 2

Prvek	Zastoupení [%]
Sodík	3
Hliník	37,77
Křemík	1,71
Měď	0,41
Zinek	0,49
Kyslík	56,62
Celkem	100

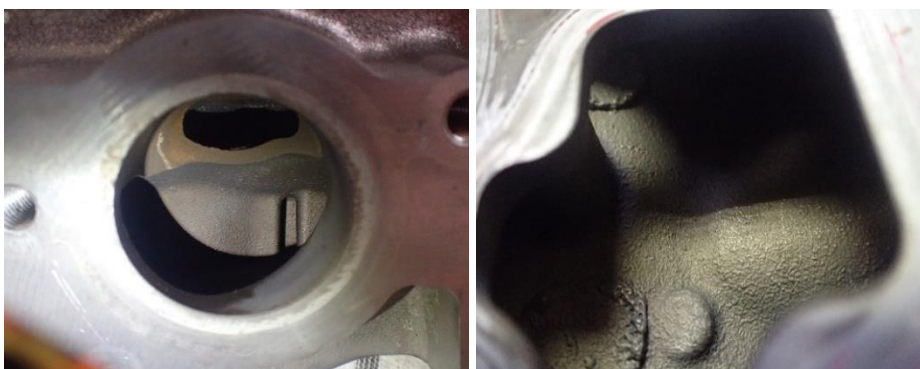
4.3.7 Hlava válců

Obrázek 59 - Hlava válců



Hlava válců je pevně uchycena pomocí osmi hluboko usazených šroubů do bloku motoru, které bylo třeba vyjmout a až poté bylo možné oddělit hlavu od bloku. Na obrázku 59 je vidět řada vodních kanálek, které propojují blok se spodním vodním pláštěm hlavy. Jiné kanálky slouží pro přenos tlakového oleje k vačkovému hřídeli. Kanálky jsou čisté bez známek snížené průchodnosti, usazenin nebo koroze. Vnitřní prostory (obrázek 62 a 63) bylo možné prohlédnout pomocí videoskopu, ale ani uvnitř hlavy nebylo nic abnormálního. Na obrázku 60 je vidět výstup z horního a dolního pláště a na obr. 61 hlavní vstup kapaliny do hlavy válců.

Obrázek 60 - Výstup kapaliny z hlavy Obrázek 61 - Otvor pro kapalinu



Obrázek 62 - Prostor pro kapalinu vně hlavy A Obrázek 63 - Prostor pro kapalinu vně hlavy B



4.3.8 Blok válců

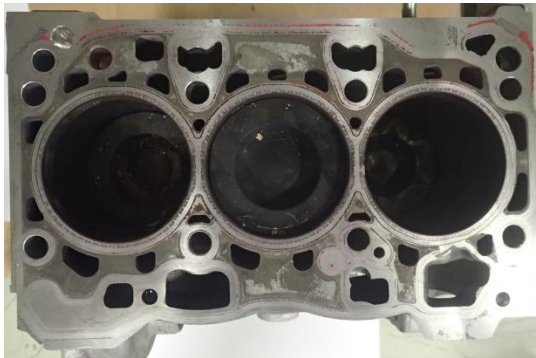
Obrázek 64 - Blok válců



Blok válců byl posledním analyzovaným dílem. Nejzajímavější jsou vodní kanálky (obrázek 65) a uložení čerpadla chladicí kapaliny. Vnitřní otvory (obrázek 67 a 68) byly prozkoumány pomocí videoskopu a je vidět, že neobsahují žádné usazeniny ani jiné nečistoty. Uložení čerpadla (obrázek 66) musí umožnit pohyb regulačního šoupátka a jakákoliv větší usazenina případně cizí těleso může zapříčinit poruchu regulace. V našem případě kromě zbytku chladicí kapaliny nebylo nic, co by ohrožovalo funkčnost. Celkově blok nebyl degradovanou kapalinou ovlivněn.

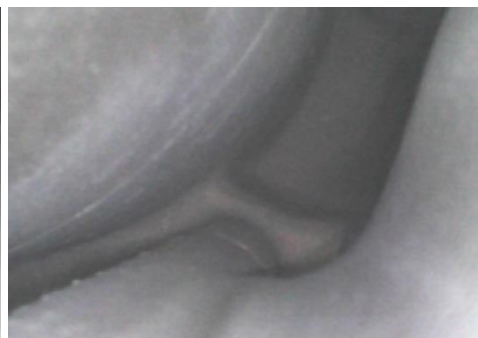
Obrázek 65 - Vodní kanály v bloku

Obrázek 66 - Uložení čerpadla



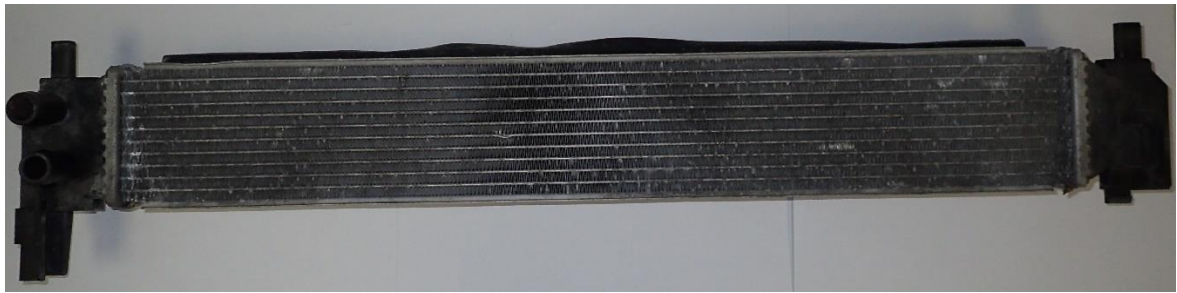
Obrázek 67 - Stěny válců v bloku A

Obrázek 68 - Stěny válců v bloku B



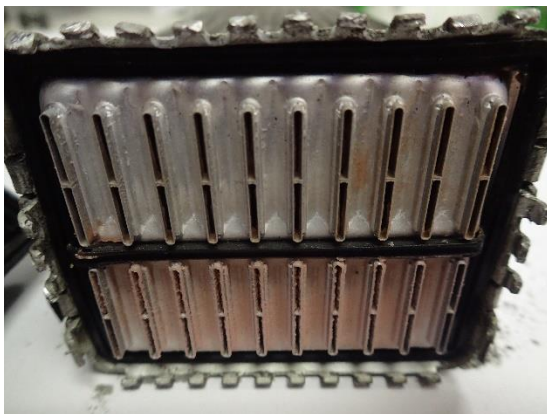
4.3.9 Chladič chladícího okruhu plnicího vzduchu (mezichladič)

Obrázek 69 - Chladič chladícího okruhu plnicího vzduchu (mezichladič)

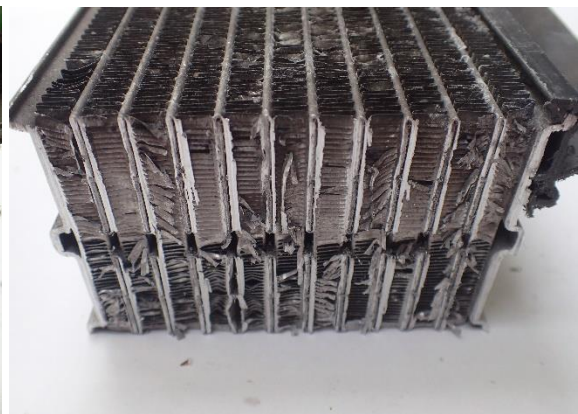


U mezichladiče (obrázek 69) platí v podstatě to samé jako u hlavního chladiče. Rovněž musí odolávat mechanickému poškození z okolního prostředí, jelikož tvoří téměř jeden celek s hlavním chladičem. Díl nevykazoval známky poškození ani netěsnosti, ale i zde bylo zjevné vnitřní znečištění ve spodní části (obrázek 70), a proto byl odebrán vzorek pro analýzu. Za vnější znečištění hliníkového povrchu může částečně provoz v zimě, kdy pozemní komunikace bývají pokryté vrstvou soli. Nicméně drobná oxidace je spíše optická záležitost a v žádném případě se nejedná o mechanické ani chemické poškození.

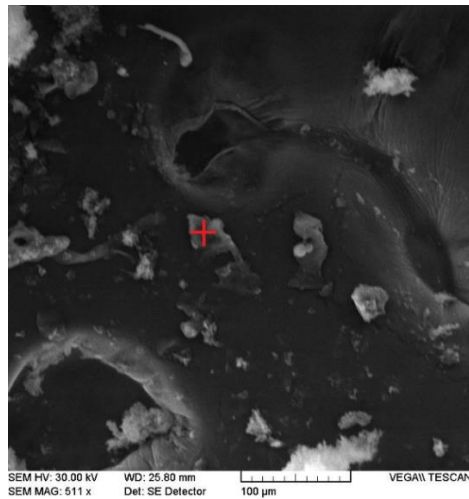
Obrázek 70 - Mezichladič bez postranního víka



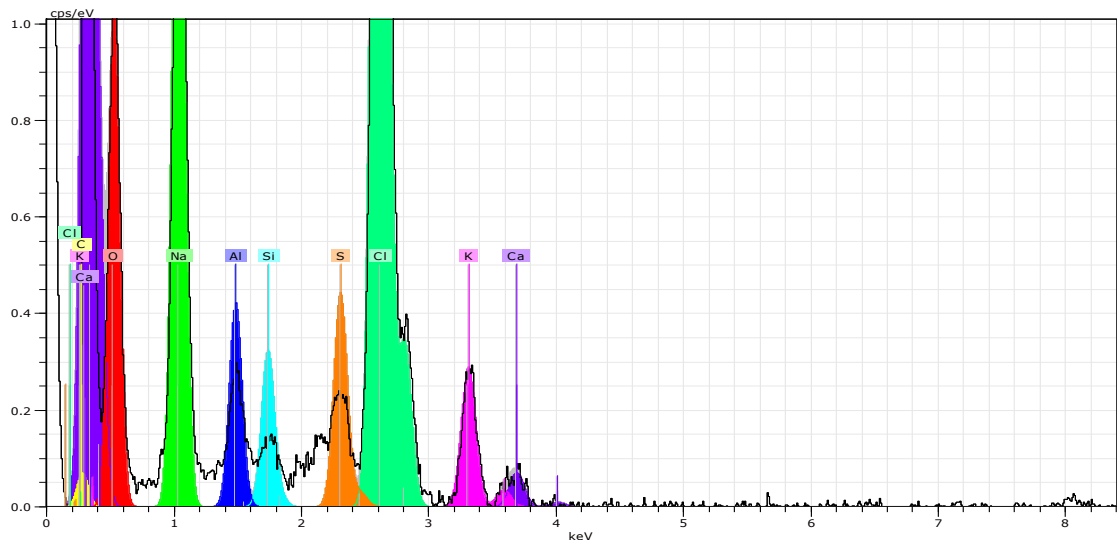
Obrázek 71 - Mezichladič v řezu



Obrázek 72 - Nečistota z mezichladiče



Graf 9 - Spektrální analýza nečistoty z mezichladiče



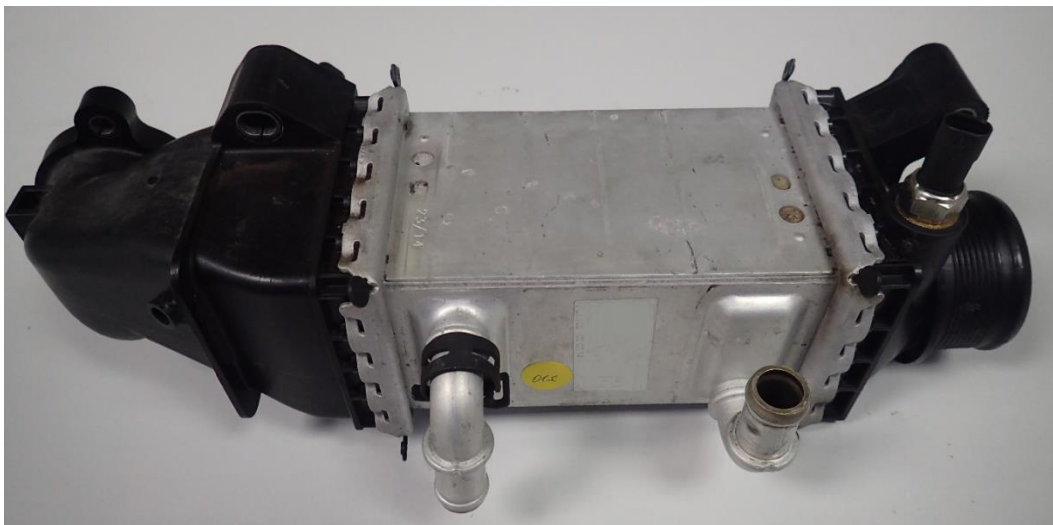
Na obrázku 72 je nečistota ohraničena. Převládá zde kyslík, chlorid sodný a dále hliník s křemíkem. Ostatní prvky jsou uvedeny v tabulce 13.

Tabulka 13 - Chemické složení nečistoty z mezichladiče

Prvek	Zastoupení [%]
Sodík	9,64
Hliník	1,09
Křemík	0,69
Draslík	0,63
Uhlík	3,94
Síra	0,78
Chlór	7,4
Vápník	0,18
Kyslík	75,65
Celkem	100

4.3.10 Chlazení plnicího vzduchu

Obrázek 73 - Chladič plnicího vzduchu

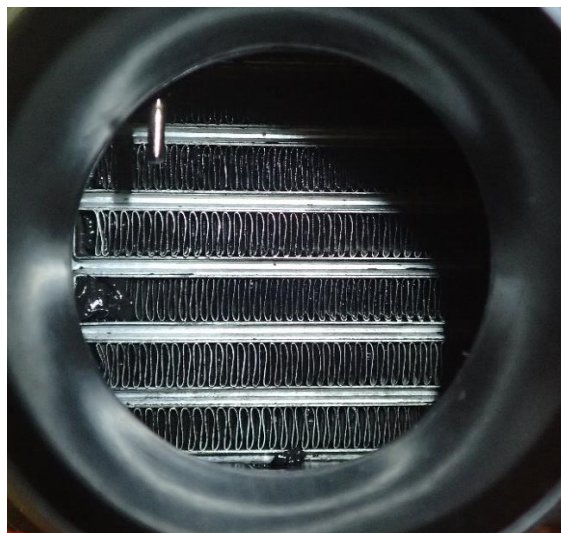


Vyjmutí chladiče nebylo složité, protože se nachází na boční straně motoru v dráze stlačeného vzduchu mezi turbodmychadlem a sáním. Po výjmutí dílu (obrázek 73) následoval pokus, který spočíval v naplnění tělesa vodou a následná kontrola těsnosti. Únik vody nebyl u žádné z částí zjištěn a kapalina byla vypuštěna. Po vysušení následovalo rozříznutí (obrázek 74), aby bylo možné nahlédnout do vnitřních částí.

Vzhledem k tomu, že chladič plnicího vzduchu se nachází v okruhu, který již dříve vykazoval usazeniny, bylo překvapením, že tento tepelný výměník nebyl tak ovlivněn jako elektrické čerpadlo a mezichladič. Při pohledu na řez chladiče nejsou patrné usazeniny, jen došlo vzhledem k pevnosti materiálu k deformacím během řezání. Přední pohled vstupem stlačeného vzduchu do chladiče (obrázek 75) ukazuje na částice, pravděpodobně prachu a oleje, které mohou mít v minimálním měřítku vliv na účinnost chlazení.

Obrázek 74 - Řez chladiče plnicího vzduchu

Obrázek 75 - Přední pohled do chladiče



4.3.11 EGR chladič

Obrázek 76 - EGR chladič



EGR chladič (obrázek 76) se nachází v zadní části motoru v přímém napojení na EGR ventil. Jde o robustní součást tvořenou tak, aby byla schopná odolávat vysokým teplotám a proto je i poměrně těžká. Opět jsem provedl test těsnosti pomocí obyčejné vody, který prokázal absolutní těsnost. Díl byl rozříznut (obrázek 77 i 78) a prozkoumán z vnitřní strany a nebyly zde nalezeny žádné stopy usazenin ani koroze.

Obrázek 77 - Řez EGR chladiče



Obrázek 78 - Detail řezu EGR chladiče



4.3.12 Ventil zpětného vedení výfukových plynů

Obrázek 79 - Ventil zpětného vedení výfuk plynů



Chladicí kapalina v tomto případě protéká přímou cestou bez tepelného výměníku. Trubka přivádějící a odvádějící chladicí kapalinu do a z EGR ventilu (obrázek 79) má kruhový průřez o konstantním průměru po celé délce. Část ventilu spojující vstupní a výstupní potrubí je opatřeno drážkováním z důvodu zvětšení chladicí plochy. Kapalina zde snižuje tepelné namáhání ventilu, který je ovládán pomocí elektromotoru. Při pohledu do vnitřní části (obrázek 80) opět nebylo nic, co by prokázalo negativní vliv degradované kapaliny na součást.

Obrázek 80 - EGR ventil



4.3.13 Chladič kapaliny olejového modulu

Obrázek 81 - Chladič oleje



Po oddělení chladiče od celého modulu (obrázek 81) vyteklo zbytkové množství chladicí kapaliny a olejové náplně. Mezi modulem a tělesem chladiče jsou pryžové O kroužky, které nevykazovaly žádné netěsnosti. Ve vstupním ani výstupním otvoru pro kapalinu nebyly žádné nečistoty ani usazeniny. Na spodní straně chladiče je pouze tenčí vrstva povlaku.

Pro zkoušku průchodnosti a těsnosti jsem použil obyčejnou vodu, a sledoval průtok mezi jednotlivými lamelami. Liché vrstvy resp. první, třetí, pátá až poslední přísluší kapalině a sudé olejové náplni. Lamely byly snadno průchozí, což je možné pozorovat i z pohledu v řezu (obrázek 82). Chladič nevykazoval známky snížené funkčnosti a použití degradované kapaliny ani počet ujetých kilometrů neměl na součást větší vliv.

Obrázek 82 - Chladič oleje v řezu



4.4 Termovizní analýza šíření tepla chladicím systémem

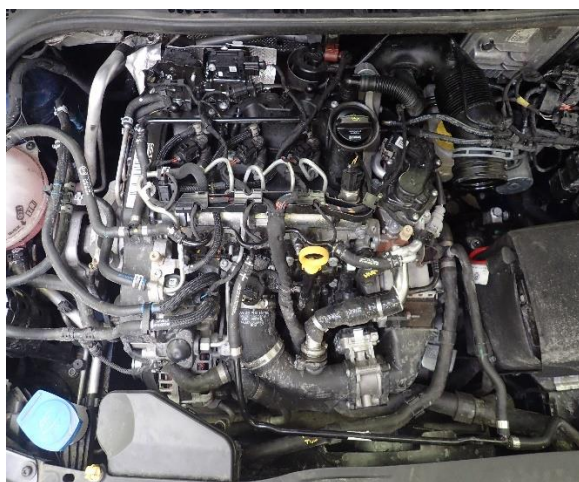
Po získání teoretických znalostí ohledně chlazení motoru byly pro úplnost ověřeny chladicí okruhy z pohledu postupného šíření tepla chladicím systémem. Pro tento experiment byl použit testovací vůz, u něhož bylo třeba provést demontáž plastových krytů a odstranění sacího potrubí z důvodu lepší viditelnosti na samostatný motor (obrázek 84). Bylo také nezbytné popsat jednotlivé hadice pro lepší orientaci během měření.

Připravený vůz jeden den nečinně stál, aby došlo k úplnému vychladnutí všech částí motoru.

Obrázek 83 - Stanoviště pro měření



Obrázek 84 - Připravený motor

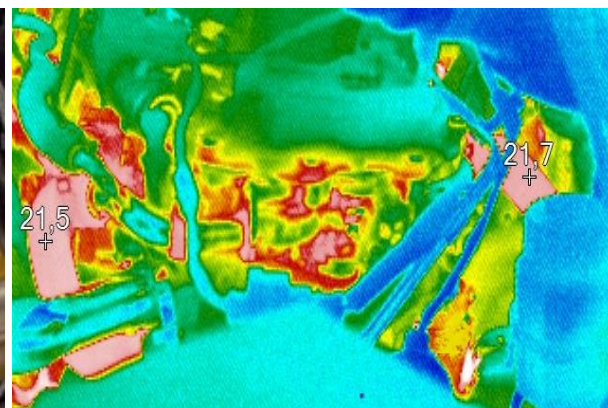


Po spuštění motoru kapalina nejdříve proudí v mikrookruhu poháněná elektrickým čerpadlem. Kapalina proudí z přední části hlavy do EGR ventilu pokračuje k EGR chladiči, topení, čerpadlu a zpět do hlavy. První se tedy zahříval výstup z hlavy a EGR ventil, což je vidět na snímku z termokamery (obrázek 86). Teplota okolo 22°C odpovídá přibližně dvěma minutám chodu motoru, při okolní teplotě kolem 5°C. Další komponenty možné sledovat nebylo, protože se nachází na zadní straně motoru. Nicméně se prokázalo, že mikrookruh pracuje jako úplně první

Obrázek 85 - Výstup kapaliny z hlavy



Obrázek 86 - Výstup kapaliny z hlavy (termo)

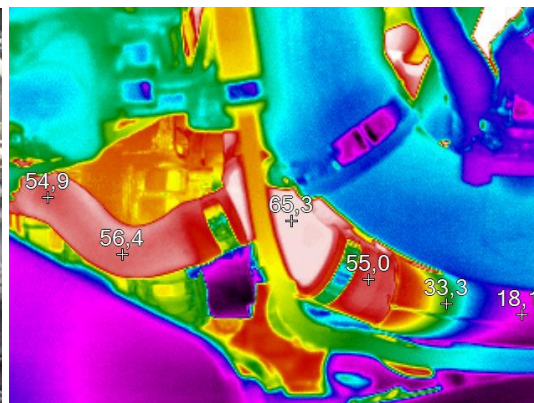


Dále bylo možné sledovat malý chladicí okruh při vysokém zatížení, kdy termostat neumožní vstup kapaliny do chladiče. Výstupní potrubí z chladiče je výrazně studenější než ostatní části systému, vzhledem k nemožnosti cirkulace kapaliny přes chladič. Teplota blíže chladiči vykazuje hodnotu 18,1°C a jen o kousek vedle již hodnotu přes 60°C (obrázek 88).

Obrázek 87 - Nečinnost chladiče motoru



Obrázek 88 - Nečinnost chladiče motoru (termo)



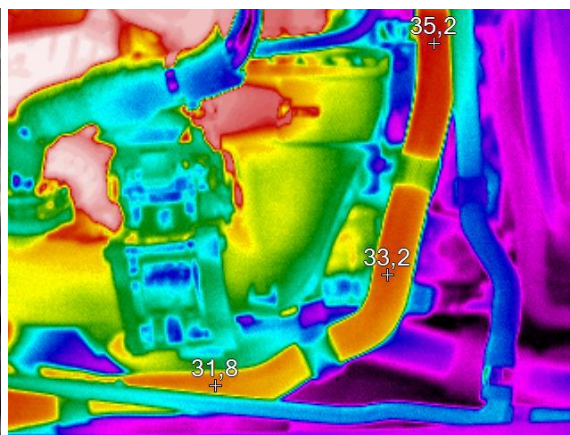
Posledním pokusem byla aktivace okruhu pro chlazení plicního vzduchu. Vzhledem k tomu, že se vozidlo nepohybovalo a motor pracoval v nízkých až středních otáčkách, turbodmychadlo nevytvářelo potřebný tlak, který by okruh ohřival. Proto bylo nutné otáčky zvednout na maximum a sledovat změnu teploty. Nakonec se podařilo okruh ohřát alespoň na teplotu 35°C, ale ani během testu nebyl okruh výrazně tepelně namáhán (obrázek 90).

Na obrázku 91 je možné pozorovat značně rozdílnou teplotu ve velkém chladicím okruhu a v okruhu pro chlazení přeplňování. Obrázek 92 představuje celkový pohled na spalovací motor.

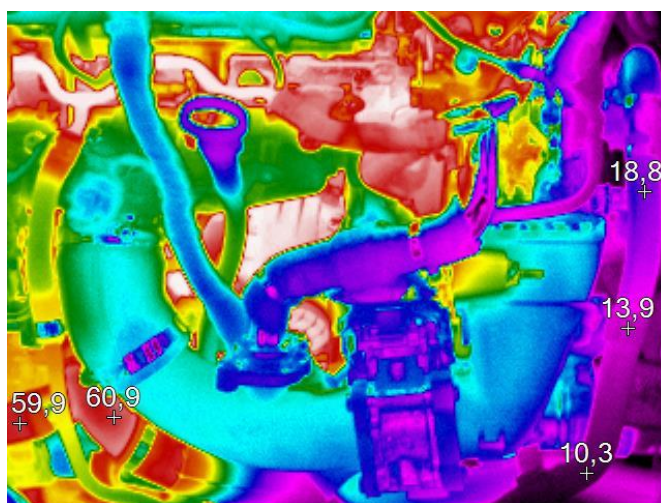
Obrázek 89 - Chlazení plicího vzduchu



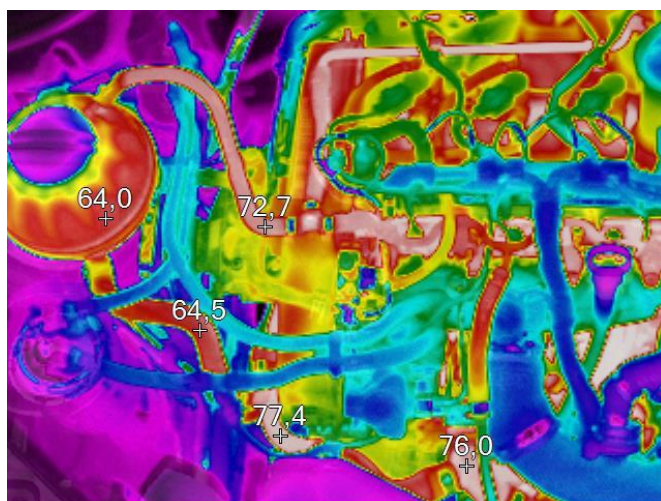
Obrázek 90 - Chlazení plicího vzduchu (termo)



Obrázek 91 - Chlazení plicího vzduchu v porovnání s teplotou v ostatních částech (termo)



Obrázek 92 - Pohled na motor (termo)



Po ukončení měření byl vůz uveden do původního stavu včetně vymazání paměti závad, protože řídicí jednotka hlásila závadu z důvodu absence snímače množství nasávaného vzduchu.

4.5 Vyhodnocení

Tabulka 14 - Vyhodnocení analýzy dílů

Název dílu	Vliv degradované chladicí kapaliny
Tlaková vyrovnávací nádoba se silikátem	NE
Potrubí	Částečný / lokální
Čerpadlo chladicí kapaliny	NE
Termoregulátor chladicí kapaliny (termostat)	NE
Chladič chladicí kapaliny	ANO
Senzor teploty chladicí kapaliny	NE
Elektrické oběhové čerpadlo - Mikrookruh	NE
Elektrické oběhové čerpadlo - Přepřívání	ANO
Hlava válců	NE
Blok válců	NE
Chladič chladicího okruhu plnicího vzduchu	ANO
Chlazení plnicího vzduchu	NE
EGR chladič	NE
EGR ventil	NE
Modul olejového filtru	NE

Obrázek 93 - Díly ovlivněné degradovanou chladicí kapalinou



Jak je z tabulky 14 patrné, některé díly podléhají opotřebení a na jiné nemá degradovaná chladicí kapalina téměř žádný vliv.

Díly, u kterých se objevila odlišnost (obrázek 93) mají jednu spoužitost, a tou je umístění v nižších místech motoru. Vlivem gravitace se nečistoty shromažďují na nejnižším místě, nicméně zajímavé je, že například druhé elektrické čerpadlo, které se nachází také nízko, usazeniny nevykazovalo. Totéž platí i v případě potrubí.

Největší pozornost patří okruhu pro chlazení přepřívání, protože tento okruh je usazeninami ovlivněn nejvíce a proto následuje podrobnější vysvětlení.

Jak je zřejmé z obrázku 23, kapalina proudí z chladiče vzduchu, kde se ohřeje, potom potrubím do mezichladiče na vlastní ochlazení a následně k čerpadlu.

Okruh se aktivuje jen na příkaz řídicí jednotky a otáčky jsou proměnné, to znamená, že okruh při nižším zatížení motoru nemusí pracovat neustále. Teploty, jak ukázal snímek z termokamery na obrázku 91, se liší od teplot v jiných částech chladicího systému. Usazeniny nebyly zjištěny na chladiči plnicího vzduchu, což znamená, že se tvoří jen na plastových či pryžových dílech a lamely chladičů spíše ucpávají.

Další krok představoval konzultaci na vývojovém oddělení a zjištění co nejvíce informací o problematickém okruhu. První důležitá informace byla, že je kapalina pro tento okruh totožná s celým systémem. Tím pádem vím, že tlak je i v tomto okruhu stejný a nemá vliv na tvorbu usazenin. Dále mě zajímalo, jakým způsobem je naprogramovaná řídicí jednotka oběhového čerpadla. Průtok se pohybuje v rozmezí 20 – 100% v závislosti na teplotě chlazeného vzduchu. Teplota v chladicím okruhu ze zkoušek motoru se pohybuje v rozmezí 50 - 70°C a čerpadlo s proměnnými otáčkami musí zajistit ochlazení nasávaného vzduchu z teploty v rozmezí 120 - 200°C na teplotu 50 - 70°C.

Z výše uvedených informací je zřejmé, že při nižším průtoku a nižší teplotě je tlak stejný jako v jiných okruzích.

Vzhledem k tomu, že vozidlo jezdilo na stanici, kde se jezdí dynamicky, navrhuji změřit rozsah teplot, které v okruhu nastanou v reálném provozu. Ukazuje se totiž, že teplota může být jedním z důležitých faktorů ovlivňujících tvorbu usazenin

4.5.1 Doporučení k řešení

Provozní teplota, na kterou je chladicí kapalina vyvinuta se pohybuje v rozmezí 85-95°C. Je možné, že nižší teploty mohou způsobit chemickou nestálost a snazší vylučování částic hliníku z chladičů. Kdybychom v okruhu zvýšili teplotu, například propojením s jiným okruhem, logicky by čerpadlo zvýšilo otáčky a tím pádem by došlo k většímu průtoku a usazeniny by neměly možnost se tak snadno přichytit na vnitřních částech dílů.

Další doporučení směřuje k detailnímu určení materiálů chladiče a mezichladiče, a to porovnáním chladičů mezi sebou, ale i každého zvlášť. Materiálové zkoušky nejen tělesa chladiče, ale i materiál pájky, lamel a každého dalšího použitého materiálu, který je v kontaktu

s kapalinou. Bohužel tyto informace nebylo možné dohledat ve výkresové dokumentaci, a proto navrhuji oslovit dodavatele, aby je poskytl.

Po zjištění materiálového složení dílů a znalosti materiálového složení usazenin by bylo možné přesnější posouzení místa vzniku nečistot.

Poslední možností je použití úplně nové chladicí kapaliny, experiment opakovat a porovnat s výsledkem z tohoto experimentu.

Analýza kapaliny

Výsledkem ohledně chladicí kapaliny (tabulka 15) je zjištění, že kapalina umístěná v peci po dobu tří týdnů neztratí svoje základní vlastnosti a odolá i tomuto tepelnému namáhání.

Tabulka 15 - Porovnání nové a degradované kapaliny

	hustota [g/cm³]	Index lomu [-]	pH [-]	alkalická rezerva ml HCl do 5,5 pH	H₂O [%]
Nová chladicí kapalina G13	1,142	1,438	8	> 5,0	5
Degradovaná chladicí kapalina (koncentrát)	1,1438	1,4377	7,9	6,7	3,6

Degradovaná chladicí kapalina vypuštěná z vozu (tabulka 16) rovněž vyhověla a pohybuje se v rámci mezí stanovených výrobcem. Naměřené hodnoty degradované kapaliny odpovídají podle zkušeností Škoda Auto hodnotám zhruba dvouletého provozu.

Tabulka 16 - Kapalina vypuštěná z vozu

	hustota [g/cm³]	Index lomu [-]	pH [-]	alkalická rezerva ml HCl do 5,5 pH	H₂O [%]
Vypuštěná kapalina z vozu (ředěná)	1,08785	1,3902	7,1	5,3	52,4

5. Závěr

Cílem diplomové práce je detailní seznámení s moderním chladicím systémem vznětového spalovacího motoru, který vyrábí jeden z největších výrobců automobilů na světě a dále pak posouzení vlivu degradované chladicí kapaliny na funkci a životnost chladicího systému.

Koncentrát nové chladicí kapaliny byl tepelně degradován v peci při teplotě 130°C po dobu tří týdnů. Následně byl naplněn do chladicího systému vozidla, které bylo provozováno v rámci simulace zákaznického provozu 100 000 km.

První část práce je věnována popisu, konstrukci a funkčnosti jednotlivých komponentů, které mají spojitost s chlazením spalovacího motoru. Pořadí dílů je situováno do dvou okruhů, přičemž první upravuje pohyb a regulaci kapaliny a druhý popisuje všechny chlazené díly. Dále jsou podrobně vysvětleny a znázorněny všechny čtyři chladicí okruhy a vyjmenovány základní vlastnosti a složení použité chladicí kapaliny.

Pro ověření teoretické části následoval praktický pokus s termokamerou, který ověřil funkci jednotlivých okruhů pomocí šíření tepla chladicího systému vznětového motoru.

Další praktickou částí této diplomové práce byla celková demontáž motoru a následná analýza dílů vystavených působení degradované chladicí kapaliny. Analýza dílů probíhala v místních laboratořích, pouze čerpadlo chladicí kapaliny bylo analyzováno u německého dodavatele. Díly byly ověřovány z pohledu funkčnosti, těsnosti a následně demontovány nebo i rozřezány pro posouzení míry vnitřního poškození.

Hlavním zjištěním bylo nadměrné množství usazenin v okruhu chlazení přeplňování. Zvýšené množství usazenin v tomto chladicím okruhu by mohlo v budoucnu znamenat zvýšený počet závad, protože jde o nejcitlivější část chladicího systému. Tento nálezný považuje oddělení kvality a vývoje Škoda Auto za velice zajímavý a bude hledat řešení jak množství usazenin v okruhu pro chlazení přeplňování snížit. Ostatní okruhy a prvky chlazení nebyly degradovanou chladicí kapalinou výrazně ovlivněny.

Diplomová práce mi pomohla lépe pochopit funkci chladicího systému vznětového spalovacího motoru a jsem rád, že jsem mohl přispět k odhalení potenciálního problému chladicího systému, jímž se budou dále zabývat příslušná oddělení Škoda Auto.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] Hromádko Jan a kolektiv. Spalovací motory Grada, 2011
ISBN 80-2473-475-3, 9788024734750
- [2] DIPLOMOVÁ PRÁCE [on-line] - Bc. Ondřej Bastl, VUT Brno 2013,
Chladicí okruh pro formulový motor
z WWW: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=66391>
- [3] DIPLOMOVÁ PRÁCE [on-line] - Bc. Martin Mach, UTB Zlín 2013
Inovace výroby prototypového automobilového chladiče
z WWW: <http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24119/mach_2013_dp.pdf?sequence=1>
- [4] DIPLOMOVÁ PRÁCE [on-line] - Bc. Jiří Bazala, VUT Brno 2011
Návrh EGR výměníku pro recirkulaci výfukových plynů
z WWW: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41911>
- [5] Dílenská učební pomůcka, Škoda Auto, SSP00010015, 10/2013
- [6] Dílenská učební pomůcka, Škoda Auto, SSP00010515, 1/2015
- [7] VW Group, Self Study Program, [on-line] [cit. 10. 2015] 820433, 2/2014
z WWW: <http://pics3.tdiclub.com/data/517/820433_EA288.pdf>
- [8] Vlk František, [on-line] [cit. 5. 2015] CHLAZENÍ A MAZÁNÍ MOTOCYKLOVÝCH
MOTORŮ, Soudní inženýrství. Strana 243-246
z WWW: <<http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-05-243-257.pdf>>
- [9] Citroen BX, Rady, Tipy, Zkušenosti. [on-line]. 2006-2016 [cit. 23. 5. 2006 - 2010].
z WWW: <http://www.diopan.cz/citroenbx/tipy_rady/chladici%20kapalina.htm>
- [10] AutoEXPERT, [on-line] [cit. 12. 2014] Jan Skolil, převzato z Classic-oil
z WWW: <http://www.classic-oil.cz/_data_novinky/20141222_CHK_G13_vyvoj.pdf>
- [11] Auto.cz, [on-line] [cit. 25. 11. 2013] Martin Vaculík, Test chladicích kapalin
z WWW: <<http://www.auto.cz/test-chladicich-kapalin-g12-musi-vic-nez-nemrznout-78004>>
- [12] Regulus.cz [on-line] 2011-2016 [cit. 17. 11. 2011 - 28. 8. 2015].
z WWW: <<http://www.regulus.cz/cz/expanzni-nadoby>>
- [13] T 14 Chlazení motorů, údržba, opravy chladicích soustav [on-line] [cit. 11. 2015]
z WWW: <<https://publi.cz/books/160/14.html>>
- [14] Auto.cz [on-line] [cit. 6. 11. 2014] Ladislav Čermák, Motor 1.4 TDI z rodiny EA288
z WWW: <<http://www.auto.cz/technika-motor-1-4-tdi-z-nove-rodiny-ea288-83938>>
- [15] Wikina.cz [on-line] [cit. 29. 6. 2015] Hustota
z WWW: <<http://www.wikina.cz/a/Hustota>>
- [16] Wikiskripta.eu [on-line] [cit. 30. 11. 2015] Index lomu světla
z WWW: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Index_lomu_sv%C4%9Btla>
- [17] Wikipedia.org [on-line] [cit. 5. 3. 2016] pH
z WWW: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/PH>>

SEZNAM OBRÁZKŮ:

OBRÁZEK 1 - SCHÉMA TEPELNÁ BILANCE SPALOVACÍHO MOTORU	2	
OBRÁZEK 2 - CELKOVÁ SESTAVA CHLADICÍCH DÍLŮ	7	
OBRÁZEK 3 - TLAKOVÁ VYROVNÁVACÍ NÁDOBA V ŘEZU	10	
OBRÁZEK 4 - POTRUBÍ	11	
OBRÁZEK 5 - ČERPADLO CHLADICÍ KAPALINY V ŘEZU	12	
OBRÁZEK 6 - PRACOVNÍ POLOHY ČERPADLA CHLADICÍ KAPALINY	12	
OBRÁZEK 7 - TERMOREGULÁTOR CHLADICÍ KAPALINY V ŘEZU S UKÁZKOU AKTIVACE	13	
OBRÁZEK 8 - POPIS CHLADIČE CHLADICÍ KAPALINY	14	
OBRÁZEK 9 - SENZOR TEPLoty CHLADICÍ KAPALINY	14	
OBRÁZEK 10 - VENTILÁTOR	15	
OBRÁZEK 11 - ELEKTRICKÉ OBĚHOVÉ ČERPADLO CHLADICÍ KAPALINY	16	
OBRÁZEK 12 - HLAVA VÁLCŮ S UKÁZKOU CHLADICÍCH PLÁŠŤŮ	17	
OBRÁZEK 13 - BLOK VÁLCŮ SE ZÁKLADNÍM POPISEM	18	
OBRÁZEK 14 - POPIS CHLADIČE CHLADICÍHO OKRUHU PLNÍČÍHO VZDUCHU	18	
OBRÁZEK 15 - CHLAZENÍ PLNÍČÍHO VZDUCHU	19	
OBRÁZEK 16 - EGR CHLADIČ S POPISEM	20	
OBRÁZEK 17 - EGR VENTIL	21	
OBRÁZEK 18 - MODUL OLEJOVÉHO FILTRU	22	
OBRÁZEK 19 - PŘEHLED CHLADICÍ SOUSTAVY	23	
OBRÁZEK 20 - SCHÉMA AKTIVNÍCH PRVKŮ MALÉHO CHLADICÍHO OKRUHU (MIKROOKRUHU)	24	
OBRÁZEK 21 - SCHÉMA AKTIVNÍCH PRVKŮ MALÉHO CHLADICÍHO OKRUHU PŘI VYSOKÉM ZATÍŽENÍ	25	
OBRÁZEK 22 - SCHÉMA AKTIVNÍCH PRVKŮ VELKÉHO CHLADICÍHO OKRUHU	26	
OBRÁZEK 23 - SCHÉMA AKTIVNÍCH PRVKŮ PRO CHLAZENÍ PLNÍČÍHO VZDUCHU	27	
OBRÁZEK 24 - SPALOVACÍ MOTOR URČENÝ K ANALÝZE	28	
OBRÁZEK 25 - DEMONTÁŽ ČERPADLA CHLADICÍ KAPALINY	29	
OBRÁZEK 26 - DEMONTOVANÉ DÍLY, KTERÉ MAJÍ SPOJITOST S CHLADICÍM SYSTÉMEM	29	
OBRÁZEK 27 - RASTROVACÍ ELEKTRONOVÝ MIKROSKOP	30	
OBRÁZEK 28 - VIDEOSKOP	31	
OBRÁZEK 29 - TERMOKAMERA	32	
OBRÁZEK 30 - TLAKOVÁ VYROVNÁVACÍ NÁDOBA	34	
OBRÁZEK 31 - TLAKOVÁ NÁDOBA V ŘEZU	OBRÁZEK 32 - ZÁSOBNÍK S KŘEMIČITANEM	34
OBRÁZEK 33 - POTRUBÍ		35
OBRÁZEK 34 - ŘEZ POTRUBÍM	OBRÁZEK 35 - ŘEZ POTRUBÍM	35
OBRÁZEK 36 - 1. NEČISTOTA Z POTRUBÍ		36
OBRÁZEK 37 - 2. NEČISTOTA Z POTRUBÍ		37
OBRÁZEK 38 - 3. NEČISTOTA Z POTRUBÍ		38
OBRÁZEK 39 - 4. NEČISTOTA Z POTRUBÍ		39
OBRÁZEK 40 - ČERPADLO CHLADICÍ KAPALINY		40
OBRÁZEK 41 - ZKOUŠKA REGULAČNÍHO ŠOUPÁTKA	OBRÁZEK 42 - POVRCH OBĚŽNÉHO KOLA	40
OBRÁZEK 43 - ROZBOR ČERPADLA OD DODAVATELE		41
OBRÁZEK 44 - TERMOREGULÁTOR		42
OBRÁZEK 45 - ROZEBRANÝ TERMOREGULÁTOR	OBRÁZEK 46 - VNITŘNÍ STĚNA TERMOREGULÁTORU	42
OBRÁZEK 47 - CHLADIČ CHLADICÍ KAPALINY		43
OBRÁZEK 48 - CHLADIČ BEZ POSTRANNÍHO VÍKA	OBRÁZEK 49 - CHLADIČ V ŘEZU	43
OBRÁZEK 50 - 1. NEČISTOTA Z CHLADIČE		44
OBRÁZEK 51 - 2. NEČISTOTA Z CHLADIČE		45
OBRÁZEK 52 - ELEKTRICKÉ OBĚHOVÉ ČERPADLO		46

OBRÁZEK 53 - LOPATKOVÉ KOLO PRVNÍHO ČERPADLA.....	46	
OBRÁZEK 54 - LOPATKOVÉ KOLO DRUHÉHO ČERPADLA	OBRÁZEK 55 - DETAIL LOPATKOVÉHO KOLA.....	47
OBRÁZEK 56 - POROVNÁNÍ PRVNÍHO ČERPADLA (VLEVO) A DRUHÉHO ČERPADLA (VPRAVO)	47	
OBRÁZEK 57 - 1. NEČISTOTA Z DOBĚHOVÉHO ČERPADLA.....	48	
OBRÁZEK 58 - 2. NEČISTOTA Z DOBĚHOVÉHO ČERPADLA.....	49	
OBRÁZEK 59 - HLAVA VÁLCŮ	50	
OBRÁZEK 60 - VÝSTUP KAPALINY Z HLAVY	OBRÁZEK 61 - OTVOR PRO KAPALINU.....	50
OBRÁZEK 62 - PROSTOR PRO KAPALINU VNĚ HLAVY A	OBRÁZEK 63 - PROSTOR PRO KAPALINU VNĚ HLAVY B	50
OBRÁZEK 64 - BLOK VÁLCŮ	51	
OBRÁZEK 65 - VODNÍ KANÁLY V BLOKU	OBRÁZEK 66 - ULOŽENÍ ČERPADLA	51
OBRÁZEK 67 - STĚNY VÁLCŮ V BLOKU A	OBRÁZEK 68 - STĚNY VÁLCŮ V BLOKU B	51
OBRÁZEK 69 - CHLADIČ CHLADÍČÍHO OKRUHU PLNÍČÍHO VZDUCHU (MEZICHLADIČ)	52	
OBRÁZEK 70 - MEZICHLADIČ BEZ POSTRANNÍHO VÍKA	OBRÁZEK 71 - MEZICHLADIČ V ŘEZU	52
OBRÁZEK 72 - NEČISTOTA Z MEZICHLADIČE.....	53	
OBRÁZEK 73 - CHLADIČ PLNÍČÍHO VZDUCHU	54	
OBRÁZEK 74 - ŘEZ CHLADIČE PLNÍČÍHO VZDUCHU	OBRÁZEK 75 - PŘEDNÍ POHLED DO CHLADIČE	54
OBRÁZEK 76 - EGR CHLADIČ	55	
OBRÁZEK 77 - ŘEZ EGR CHLADIČE	OBRÁZEK 78 - DETAIL ŘEZU EGR CHLADIČE	55
OBRÁZEK 79 - VENTIL ZPĚTNÉHO VEDENÍ VÝFUK PLYNŮ	56	
OBRÁZEK 80 - EGR VENTIL	56	
OBRÁZEK 81 - CHLADIČ OLEJE	57	
OBRÁZEK 82 - CHLADIČ OLEJE V ŘEZU	57	
OBRÁZEK 83 - STANOVIŠTĚ PRO MĚŘENÍ	OBRÁZEK 84 - PŘIPRAVENÝ MOTOR	58
OBRÁZEK 85 - VÝSTUP KAPALINY Z HLAVY	OBRÁZEK 86 - VÝSTUP KAPALINY Z HLAVY (TERMO)	59
OBRÁZEK 87 - NEČINNOST CHLADIČE MOTORU	OBRÁZEK 88 - NEČINNOST CHLADIČE MOTORU (TERMO).....	59
OBRÁZEK 89 - CHLAZENÍ PLNÍČÍHO VZDUCHU	OBRÁZEK 90 - CHLAZENÍ PLNÍČÍHO VZDUCHU (TERMO)....	60
OBRÁZEK 91 - CHLAZENÍ PLNÍČÍHO VZDUCHU V POROVNÁNÍ S TEPLOTOU V OSTATNÍCH ČÁSTECH (TERMO) .	60	
OBRÁZEK 92 - POHLED NA MOTOR (TERMO).....	60	
OBRÁZEK 93 - DÍLY OVLIVNĚNÉ DEGRADOVANOU CHLADICÍ KAPALINOU	61	

SEZNAM TABULEK:

TABULKA 1 - TECHNICKÉ PARAMETRY ELEKTRONOVÉHO MIKROSKOPU	30
TABULKA 2 - TECHNICKÉ PARAMETRY VIDEOSKOPU	31
TABULKA 3 - TECHNICKÉ PARAMETRY TERMOKAMERY	32
TABULKA 4 - VÝSLEDKY CHLADICÍCH KAPALIN	33
TABULKA 5 - CHEMICKÉ SLOŽENÍ NEČISTOTY Z POTRUBÍ 1	36
TABULKA 6 - CHEMICKÉ SLOŽENÍ NEČISTOTY Z POTRUBÍ 2	37
TABULKA 7 - CHEMICKÉ SLOŽENÍ NEČISTOTY Z POTRUBÍ 3	38
TABULKA 8 - CHEMICKÉ SLOŽENÍ NEČISTOTY Z POTRUBÍ 4	39
TABULKA 9 - CHEMICKÉ SLOŽENÍ NEČISTOTY Z CHLADIČE 1	44
TABULKA 10 - CHEMICKÉ SLOŽENÍ NEČISTOTY Z CHLADIČE 2	45
TABULKA 11 - CHEMICKÉ SLOŽENÍ NEČISTOTY Z ČERPADLA 1	48
TABULKA 12 - CHEMICKÉ SLOŽENÍ NEČISTOTY Z ČERPADLA 2	49
TABULKA 13 - CHEMICKÉ SLOŽENÍ NEČISTOTY Z MEZICHLADIČE	53
TABULKA 14 - VYHODNOCENÍ ANALÝZY DÍLŮ	61
TABULKA 15 - POROVNÁNÍ NOVÉ A DEGRADOVANÉ KAPALINY	63
TABULKA 16 - KAPALINA VYPUŠTĚNÁ Z VOZU	63

SEZNAM GRAFŮ:

GRAF 1 - SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA NEČISTOTY Z POTRUBÍ 1	36
GRAF 2 - SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA NEČISTOTY Z POTRUBÍ 2	37
GRAF 3 - SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA NEČISTOTY Z POTRUBÍ 3	38
GRAF 4 - SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA NEČISTOTY Z POTRUBÍ 4	39
GRAF 5 - SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA NEČISTOTY Z CHLADIČE 1	44
GRAF 6 - SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA NEČISTOTY Z CHLADIČE 2	45
GRAF 7 - SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA NEČISTOTY Z ČERPADLA 1	48
GRAF 8 - SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA NEČISTOTY Z ČERPADLA 2	49
GRAF 9 - SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA NEČISTOTY Z MEZICHLADIČE	53